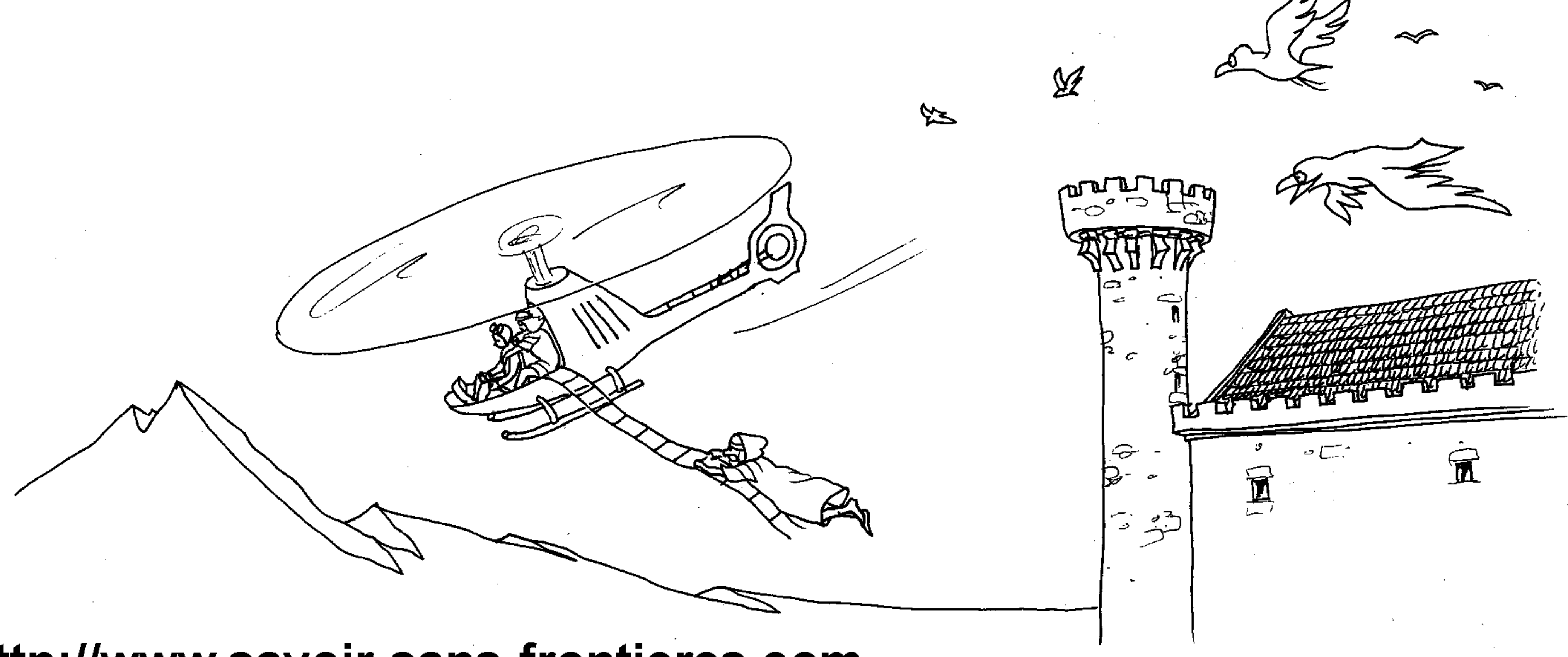
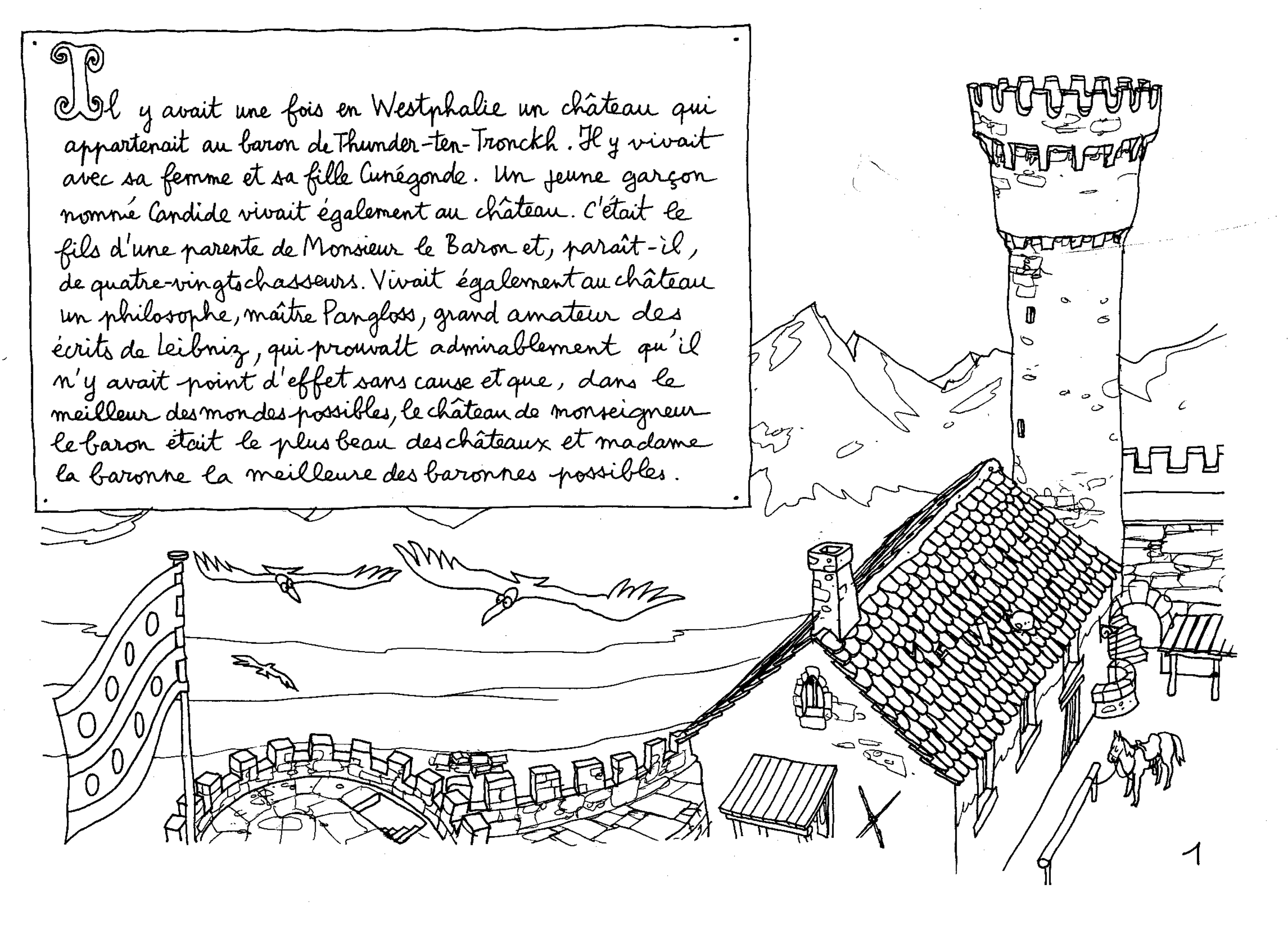
LA PASSION VERTICALE

Jean-Pierre Petit



http://www.savoir-sans-frontieres.com


Il y avait une fois en Westphalie un château qui appartenait au baron de Thunder-ten-Tronckh. Il y vivait avec sa femme et sa fille Cunégonde. Un jeune garçon nommé Candide vivait également au château. C'était le fils d'une parente de Monsieur le Baron et, paraît-il, de quatre-vingts chasseurs. Vivait également au château un philosophe, maître Pangloss, grand amateur des écrits de Leibniz, qui prouvait admirablement qu'il n'y avait point d'effet sans cause et que, dans le meilleur des mondes possibles, le château de monseigneur le baron était le plus beau des châteaux et madame la baronne la meilleure des baronnes possibles.

Un jour la jeune Cunégonde, âgée de 17ans, aperçut dans un bois proche du château le professeur Pangloss qui donnait une leçon de physique expérimentale à la femme de chambre de madame la baronne. Ayant beaucoup de dispositions pour les sciences, elle observa les expériences réitérées dont elle fut témoin. (*)

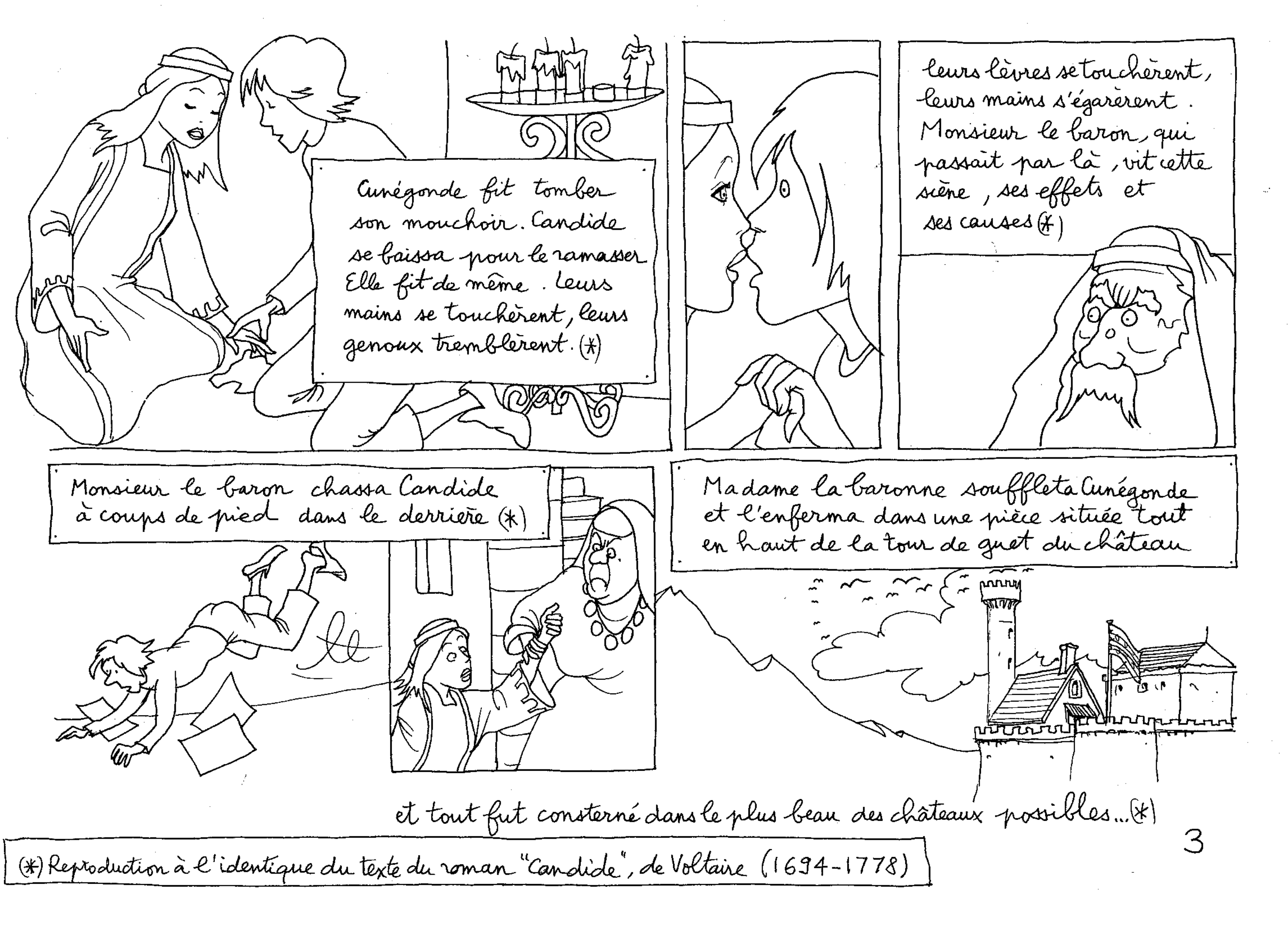


Elle vit clairement la raison suffisante du docteur, les effets et les causes et s'en retourna toute agitée, toute pensive, en grand désir d'être instruite (*)





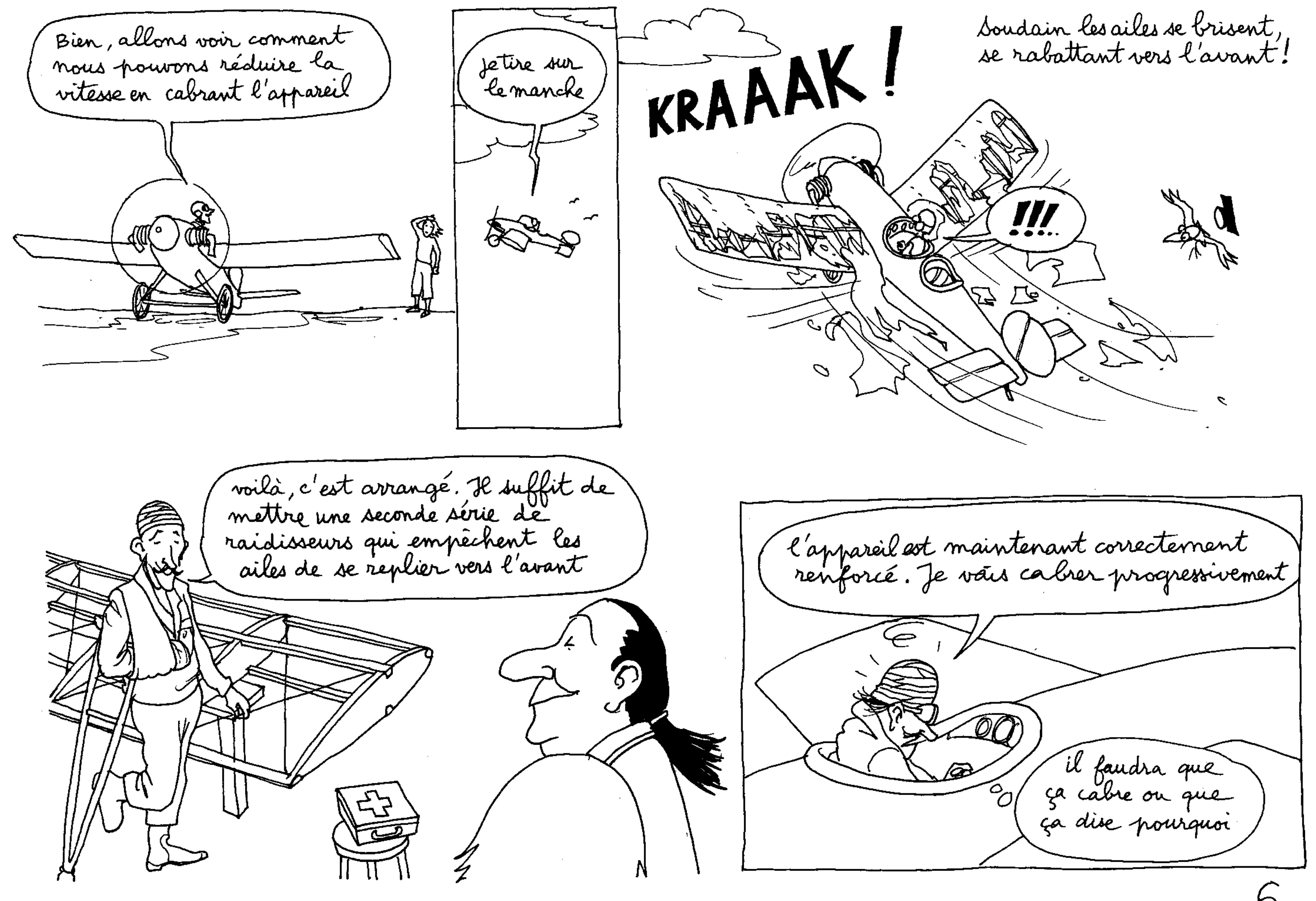
(*) Reproduction à l'identique du texte de Voltaire, extrait de son ouvrage "Candide" (1694-1778)

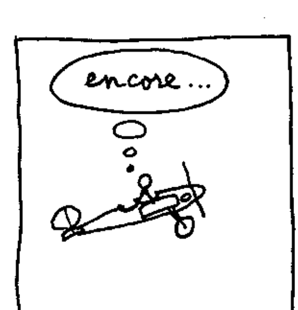

Cunégonde fit tomber son mouchoir. Candide se baissa pour le ramasser Elle fit de même. Leurs mains se touchèrent, leurs genoux tremblèrent. (*)
leurs lèvres se touchèrent, leurs mains s'égarèrent. Monsieur le baron, qui passait par là, vit cette scène, ses effets et ses causes (*)
Monsieur le baron chassa Candide à coups de pied dans le derrière (*)
Madame la baronne souffleta Cunégonde et l'enferma dans une pièce située tout en haut de la tour de guet du château
et tout fut consterné dans le plus beau des châteaux possibles... (*)
(*) Reproduction à l'identique du texte du roman "Candide", de Voltaire (1694-1778)

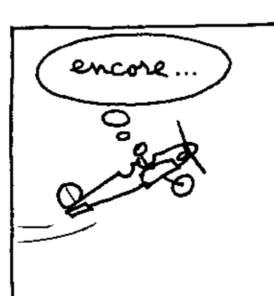


voilà notre amoureux éconduit par son futur beau-père
Ah, maître Pangloss, me voici devenu le plus malheureux des hommes. Le baron tient sa fille cloîtrée dans le donjon. Sa mère, pour éviter qu'elle ne noue ses draps pour s'évader, ne lui a laissé qu'un sac de couchage
Nous sommes prêts à fuir ensemble n'importe où. Mais, pour l'arracher à cette funeste prison il me faudrait me transformer en ... oiseau !
Je peux peut-être faire quelque chose pour vous
J'ai une machine volante : un aéroplane
il vous faut quelle distance pour vous poser ?
environ cent cinquante mètres
Ça ne collera jamais ! La terrasse qui est en haut de la tour où Cunégonde est enfermée est beaucoup trop étroite !
(*) pour savoir comment vole un aéroplane, lisez L'Aspirisouffle dans http:www.savoir-sans-frontières.com


je dois pouvoir réduire la longueur d'atterrissage en effectuant une approche à plus faible vitesse. La PORTANCE de l'aile est proportionnelle à son INCIDENCE α. En cabrant l'avion je devrais pouvoir voler beaucoup plus lentement
α
V
c'est donc cette aile qui vous permet de vous maintenir en l'air
oui
VENT RELATIF
Bord d'attaque
T
j'ai mis des câbles raidisseurs qui encaissent les forces de traînée et évitent que les ailes ne se replient vers l'arrière
NERVURE
NERVURE
PORTANCE
FORCE AÉRODYNAMIQUE
TRAÎNÉE
VITESSE
PROFIL D'AILE
distribution de la pression
EFFET DE SUCCION SUR L'EXTRADOS
SURPRESSION SUR L'INTRADOS
c'est comme dans les flèches de grues
ces barres travaillent en TRACTION
P
KRAK!
messieurs, sans ces précieux raidisseurs les ailes se briseraient
Portance
le LONGERON encaisse les forces de flexion liées à la PORTANCE
une sage précaution


Bien, allons voir comment nous pouvons réduire la vitesse en cabrant l'appareil
Je tire sur le manche
KRAAAK!
Soudain les ailes se brisent, se rabattant vers l'avant!
!!!
....
voilà, c'est arrangé. Il suffit de mettre une seconde série de raidisseurs qui empêchent les ailes de se replier vers l'avant
l'appareil est maintenant correctement renforcé. Je vais cabrer progressivement
il faudra que ça cabre ou que ça dise pourquoi





Hé !?! je tombe comme une pierre !!

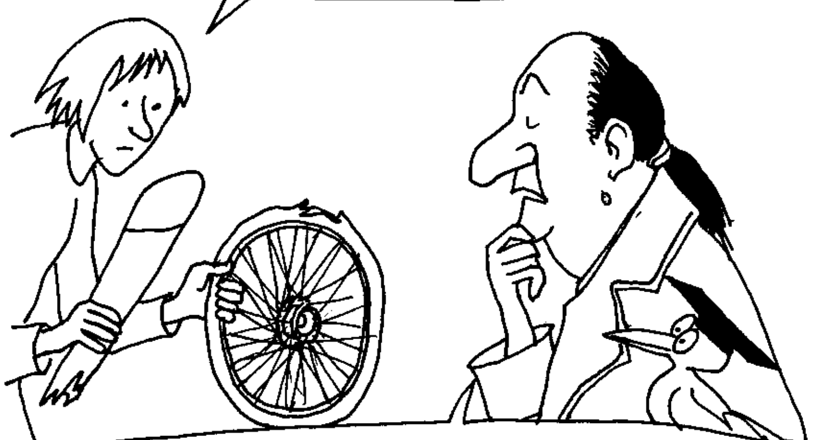
LE DÉCROCHAGE

cette fois vous avez vraiment eu de la chance que cette meule de foin soit juste en dessous !

que s'est-il passé ?

Je ne sais pas. A une certaine incidence, la portance a disparu !?!

Ce n'est pas avec cette machine que je pourrai délivrer Cunégonde. Je me demande franchement si cet engin a un avenir quelconque



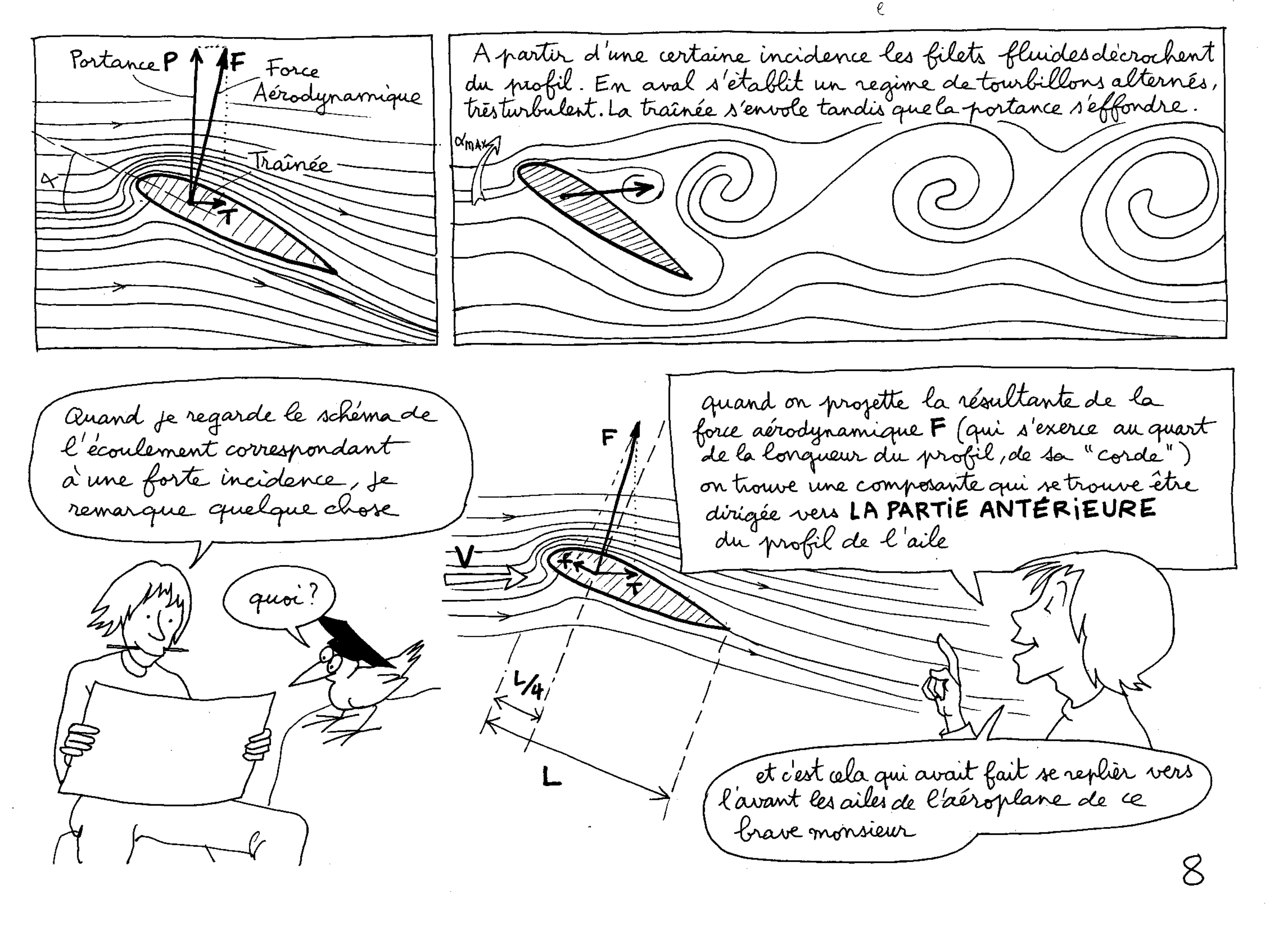
Comme il n'y a point d'effet sans cause il nous faut découvrir la raison suffisante de cette brutale disparition de la portance

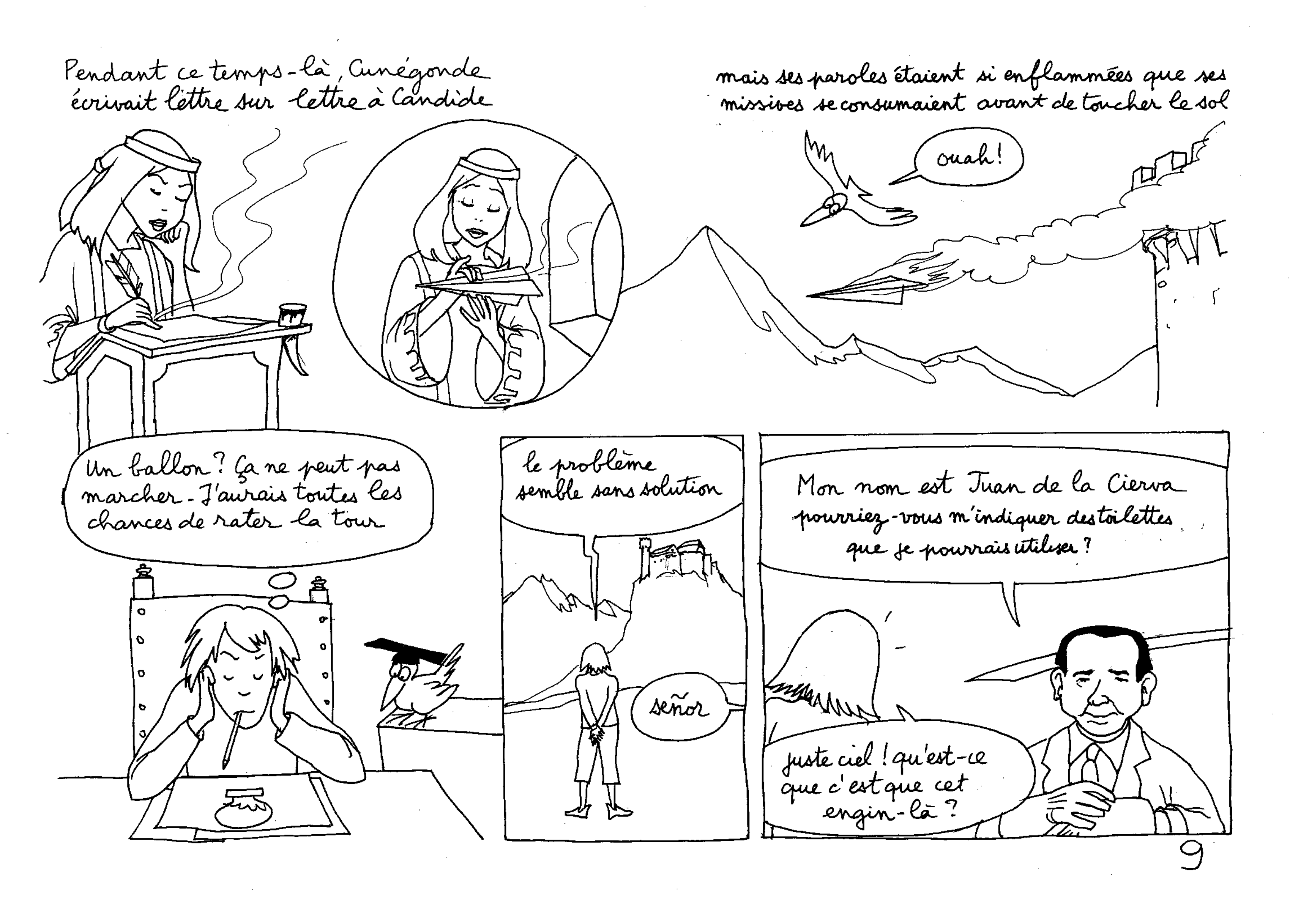
il n'y a aucune mention de ce phénomène dans l'Aspirisouffle (*). On voit seulement que la portance s'établit quand un écoulement bien régulier envoie le fluide vers le bas

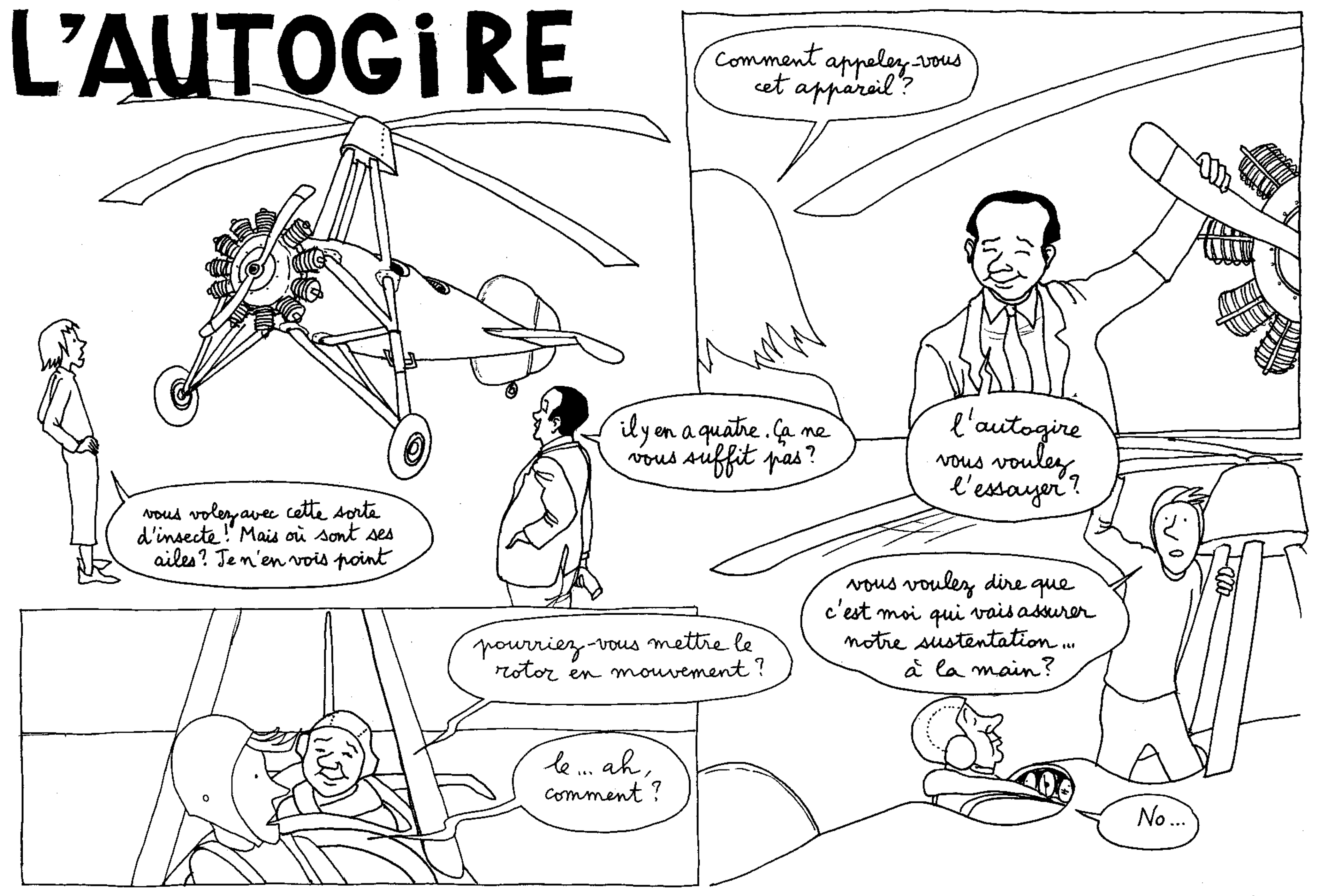
F

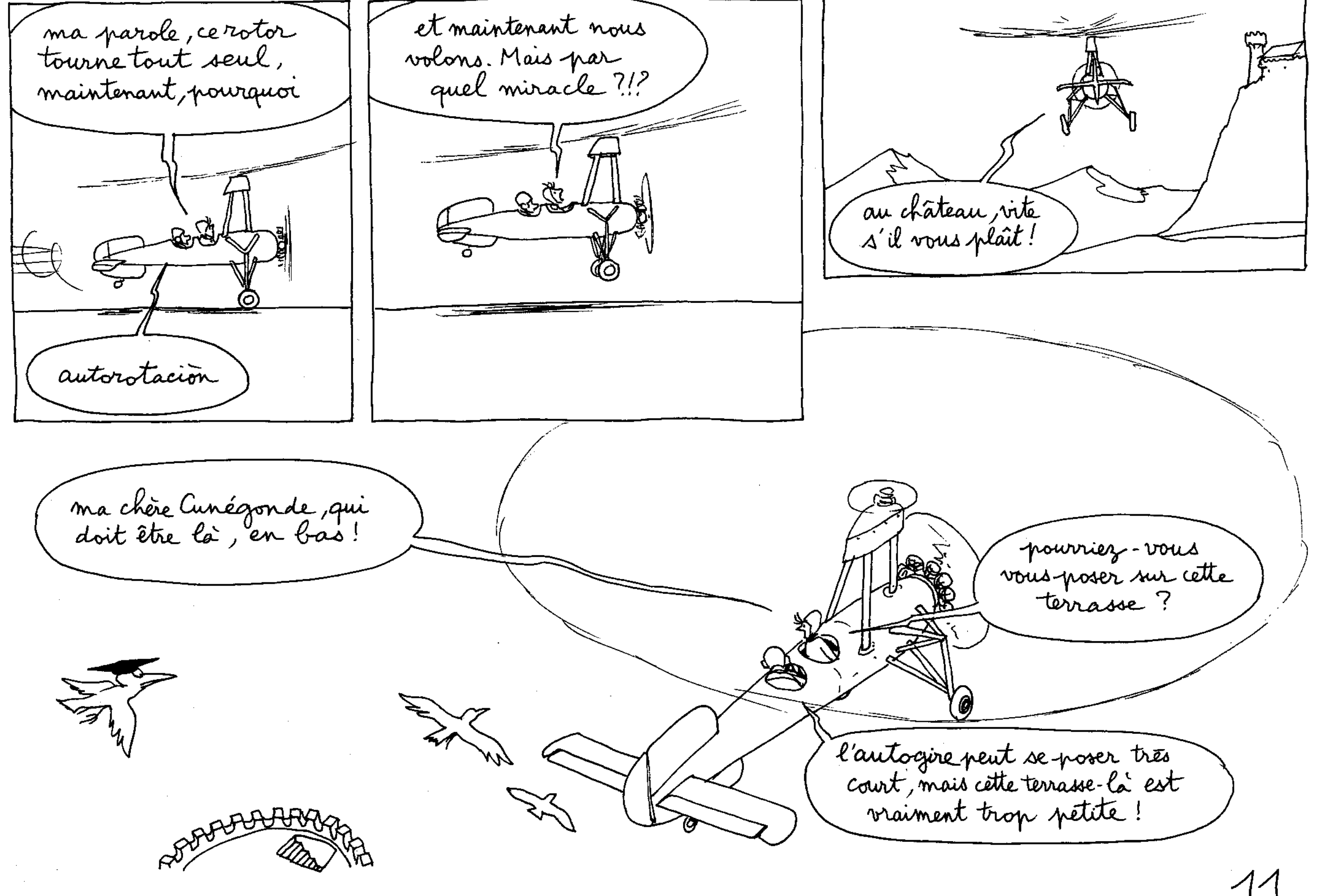
il n'y a plus qu'à faire croître l'incidence

(*) dans http://www.savoir-sans-frontieres.com


Portance P
F
Force Aérodynamique
Traînée
T
α
A partir d'une certaine incidence les filets fluides décrochent du profil. En aval s'établit un regime de tourbillons alternés, très turbulent. La traînée s'envole tandis que la portance s'effondre.
αMAX
Quand je regarde le schéma de l'écoulement correspondant à une forte incidence, je remarque quelque chose
quoi ?
quand on projette la résultante de la force aérodynamique F (qui s'exerce au quart de la longueur du profil, de sa "corde") on trouve une composante qui se trouve être dirigée vers LA PARTIE ANTÉRIEURE du profil de l'aile
F
V
f
T
L/4
L
et c'est cela qui avait fait se replier vers l'avant les ailes de l'aéroplane de ce brave monsieur


Pendant ce temps-là, Cunégonde écrivait lettre sur lettre à Candide
mais ses paroles étaient si enflammées que ses missives se consumaient avant de toucher le sol
ouah!
Un ballon? Ça ne peut pas marcher - J'aurais toutes les chances de rater la tour
le problème semble sans solution
señor
Mon nom est Juan de la Cierva pourriez-vous m'indiquer des toilettes que je pourrais utiliser?
juste ciel! qu'est-ce que c'est que cet engin-là?

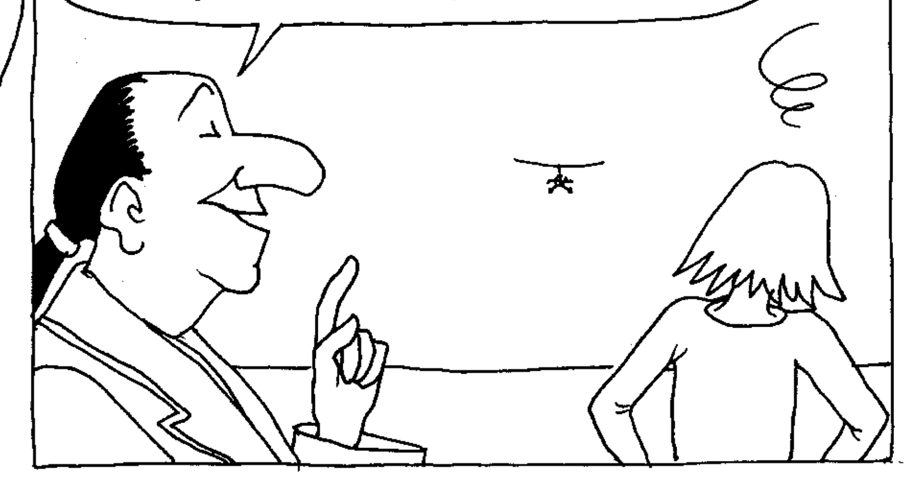

L'AUTOGIRE
vous volez avec cette sorte d'insecte! Mais où sont ses ailes? Je n'en vois point
il y en a quatre. Ça ne vous suffit pas?
Comment appelez-vous cet appareil?
l'autogire vous voulez l'essayer?
pourriez-vous mettre le rotor en mouvement?
le... ah, comment?
vous voulez dire que c'est moi qui vais assurer notre sustentation... à la main?
No...



ma parole, ce rotor tourne tout seul, maintenant, pourquoi
autorotaciòn
et maintenant nous volons. Mais par quel miracle ?!?
au château, vite s'il vous plaît !
ma chère Cunégonde, qui doit être là, en bas !
pourriez-vous vous poser sur cette terrasse ?
l'autogire peut se poser très court, mais cette terrasse-là est vraiment trop petite !


Ah, maître Pangloss, j'ai survolé le château et la tour où Cunégonde est retenue prisonnière. Et cela à bord de la fantastique machine volante de monsieur de la Cierva
c'est lui qui redécolle au loin, là-bas?


Ah, malheur! Il emporte avec lui tous ses secrets. Quelle est la force mystérieuse qui fait tourner son rotor?


l'explication est pourtant simple: un rotor est fait pour tourner. Donc il est doué d'une vertu rotative et il tourne; Il n'y a point d'effet sans cause


votre raisonnement est imparable, mon maître, mais j'aimerais bien en savoir plus...


que fait Candide?
je crois qu'il va reconstituer la soufflerie avec laquelle monsieur de la Cierva a découvert la raison suffisante de cet étonnant phénomène

+2°

j'ai reconstitué le rotor de ce bon monsieur de la Cierva
Inclinaison des pales = **PLUS** deux degrés

La pale est bien calée **POSITIVEMENT** par rapport au flux d'air !

2°

V

plus une soufflerie verticale, une grille de tranquillisation et émettrice de fumée

j'envoie un flux d'air ascendant

le rotor ne tourne pas. Il crée simplement une forte turbulence dans son sillage

maintenant je mets le rotor en rotation

Et voilà. Il tourne tout seul. c'est à n'y rien comprendre !

c'est... de la magie !?

AUTOROTATION

Quand l'incidence de la pale diminue, par rapport à la direction du **VENT RELATIF**, l'écoulement recolle (figure **C**). La force aérodynamique (composante **f**) tend à entraîner la pale. En **D** cette force s'annule, puis s'inverse en **E**. La composante **f** freine alors le mouvement de la pale

A

B

C

RECOLLEMENT

PARTIE "MOTRICE"

f

D

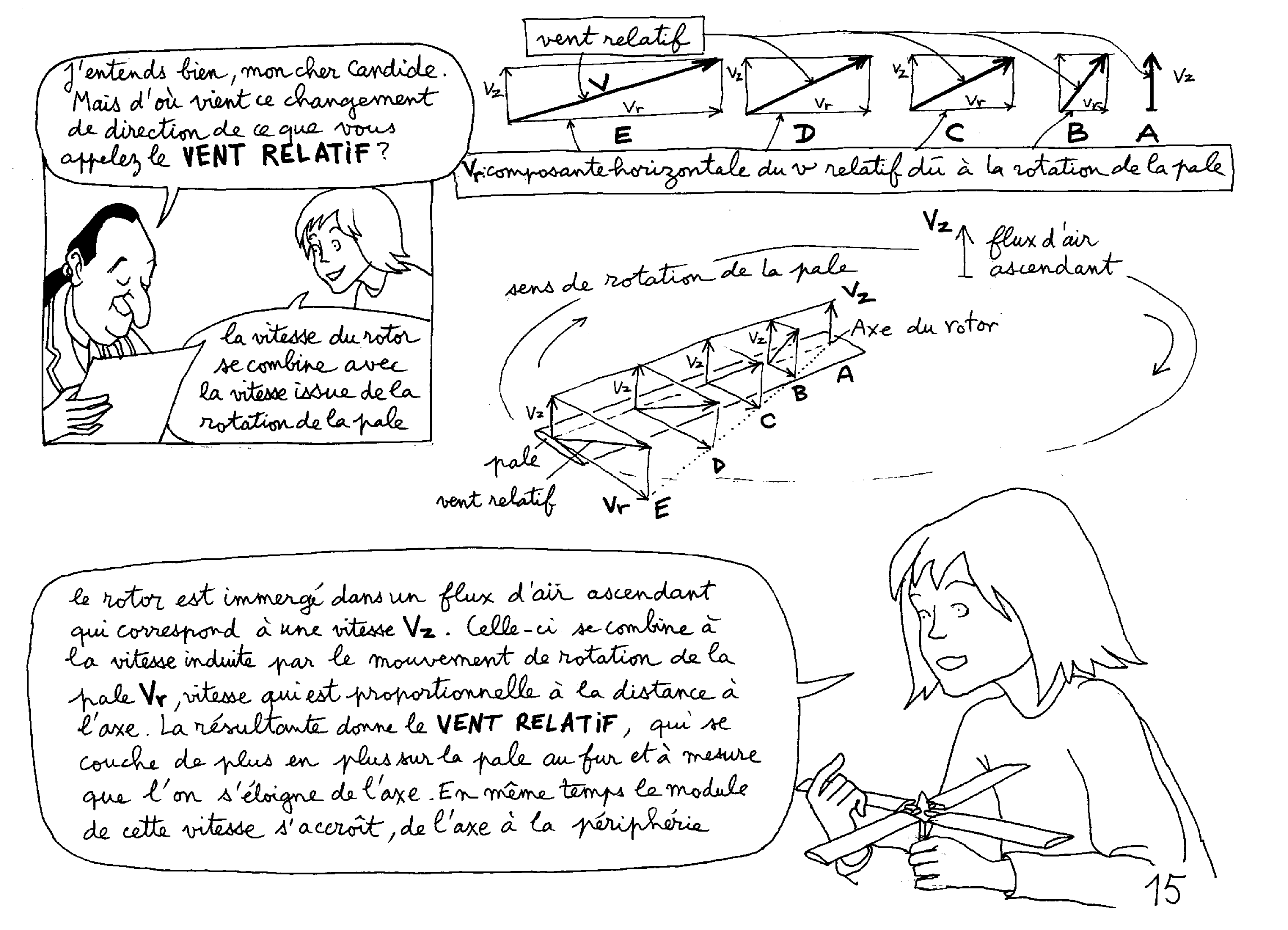
SECTION "NEUTRE"

f=0

E

PARTIE "TRAINANTE"

f


J'entends bien, mon cher Candide. Mais d'où vient ce changement de direction de ce que vous appelez le VENT RELATIF ?
vent relatif
V
Vz
Vr
E
D
C
B
A
Vr: composante horizontale du v relatif dû à la rotation de la pale
la vitesse du rotor se combine avec la vitesse issue de la rotation de la pale
Vz
flux d'air ascendant
sens de rotation de la pale
Axe du rotor
pale
vent relatif
le rotor est immergé dans un flux d'air ascendant qui correspond à une vitesse Vz. Celle-ci se combine à la vitesse induite par le mouvement de rotation de la pale Vr, vitesse qui est proportionnelle à la distance à l'axe. La résultante donne le VENT RELATIF, qui se couche de plus en plus sur la pale au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'axe. En même temps le module de cette vitesse s'accroît, de l'axe à la périphérie

Selon la façon dont ce **VENT RELATIF** attaque la pale on obtient des écoulements très différents. Pour les visualiser j'ai adapté un fin tube qui émet de la fumée, en étant solidaire de la pale en rotation. Et voila les différents résultats que j'ai pu obtenir

en **A** et **B** l'écoulement est "décroché" La pale crée une forte turbulence. En **C** l'écoulement recolle au profil. la force aérodynamique tend à entraîner la pale vers l'avant (zone motrice, "autorotative", grise)

pale

vent relatif

V_2

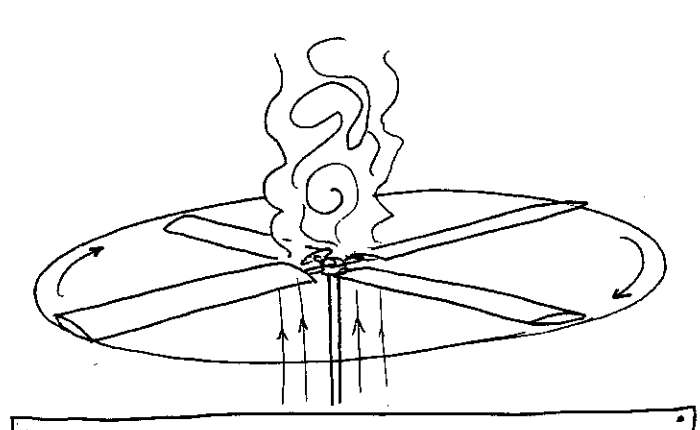
A
B
C
D
E
F
f
f=0

zone motrice, dite "autotractive"

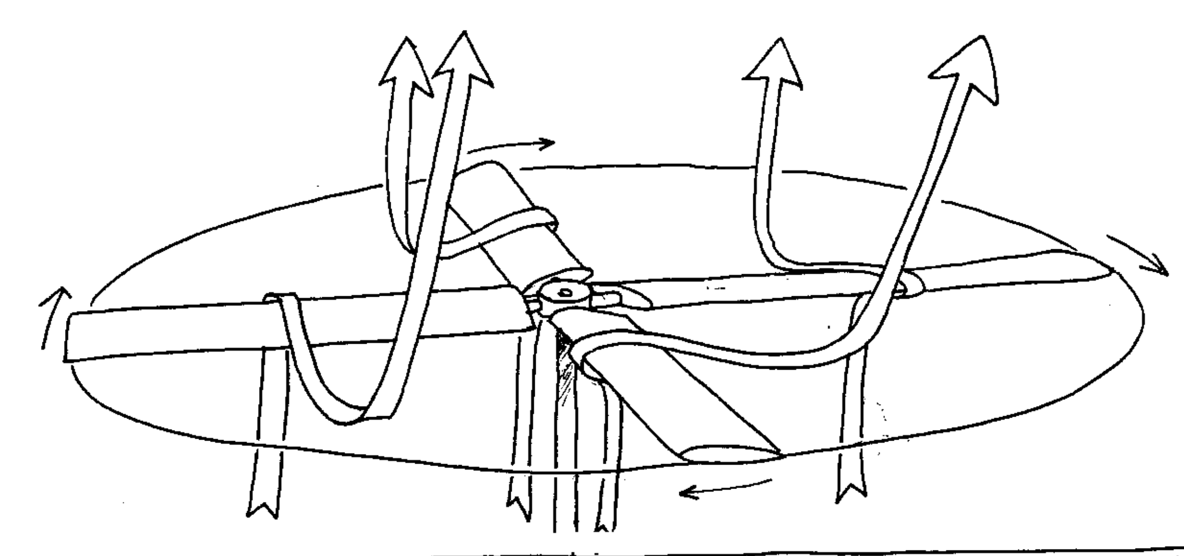
zone traînante (fonctionnement "hélice")

En **E** la force aérodynamique, toujours dirigée vers le haut, tend à freiner le mouvement de la pale. La figure **D** représente la situation-limite (f=0). Dans ce régime d'**AUTOROTATION** la portion hachurée de la pale est motrice, alors que le bout de pale "se fait traîner". Un régime **AUTOSTABLE** s'établit

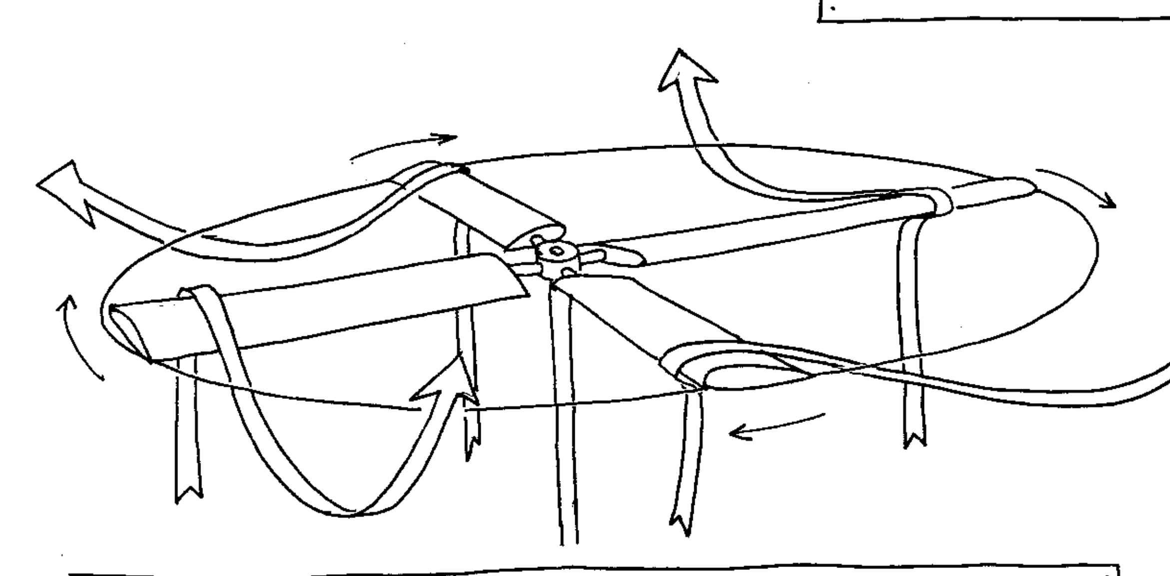
tout cela ayant été essayé en soufflerie par Juan de la Cierva



au dessus de la partie centrale (écoulement "décroché", un sillage fortement turbulent



Ici, l'écoulement recolle au profil de la pale



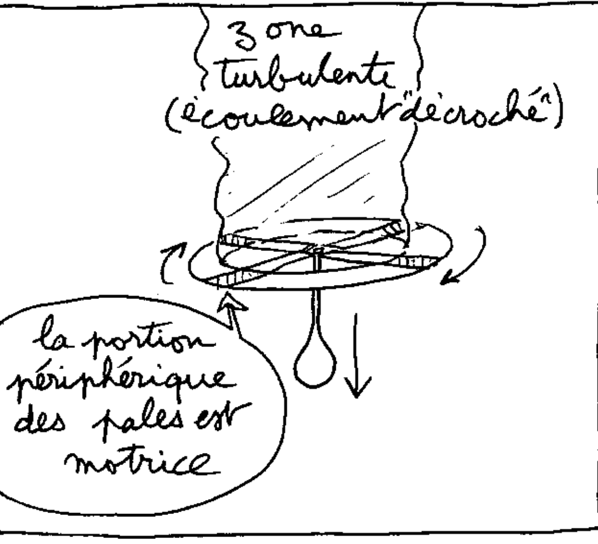
A la périphérie, l'impulsion communiquée à la masse d'air, dirigée vers le bas (**VITESSE INDUITE**) est suffisante pour que cet air ressorte en dehors du disque balayé par le rotor

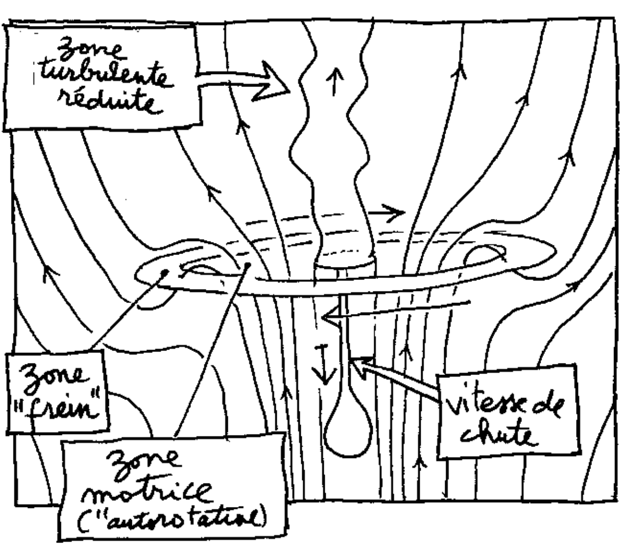
ce qui donne à l'écoulement global l'allure étrange ci-dessus

Regardez, maître Pangloss, je lâche cette petite maquette par cette fenêtre après lui avoir communiqué une impulsion minimale

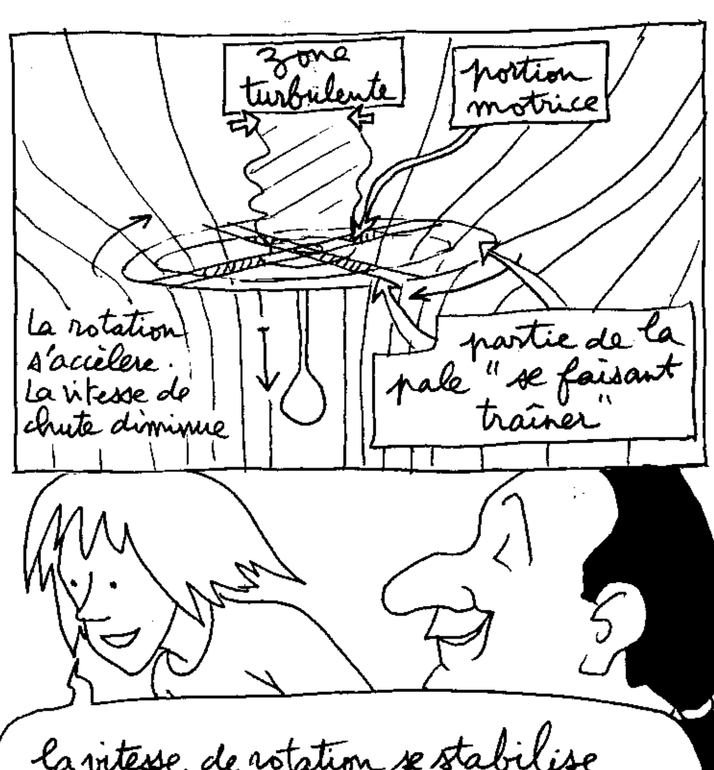


pour faire en sorte que la partie périphérique du rotor tourne assez vite pour que l'écoulement "recolle". Elle devient alors motrice et la rotation s'accélère

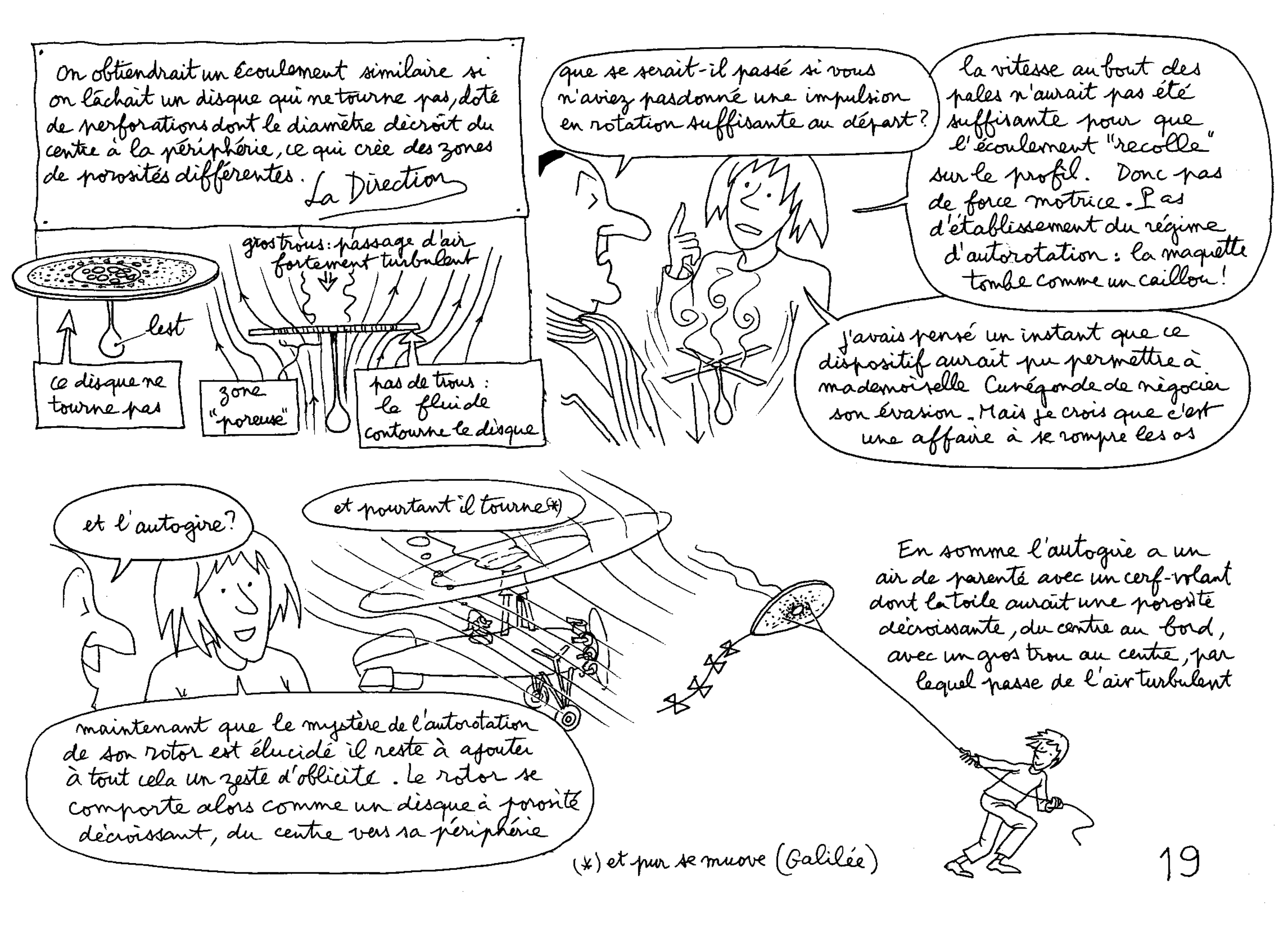


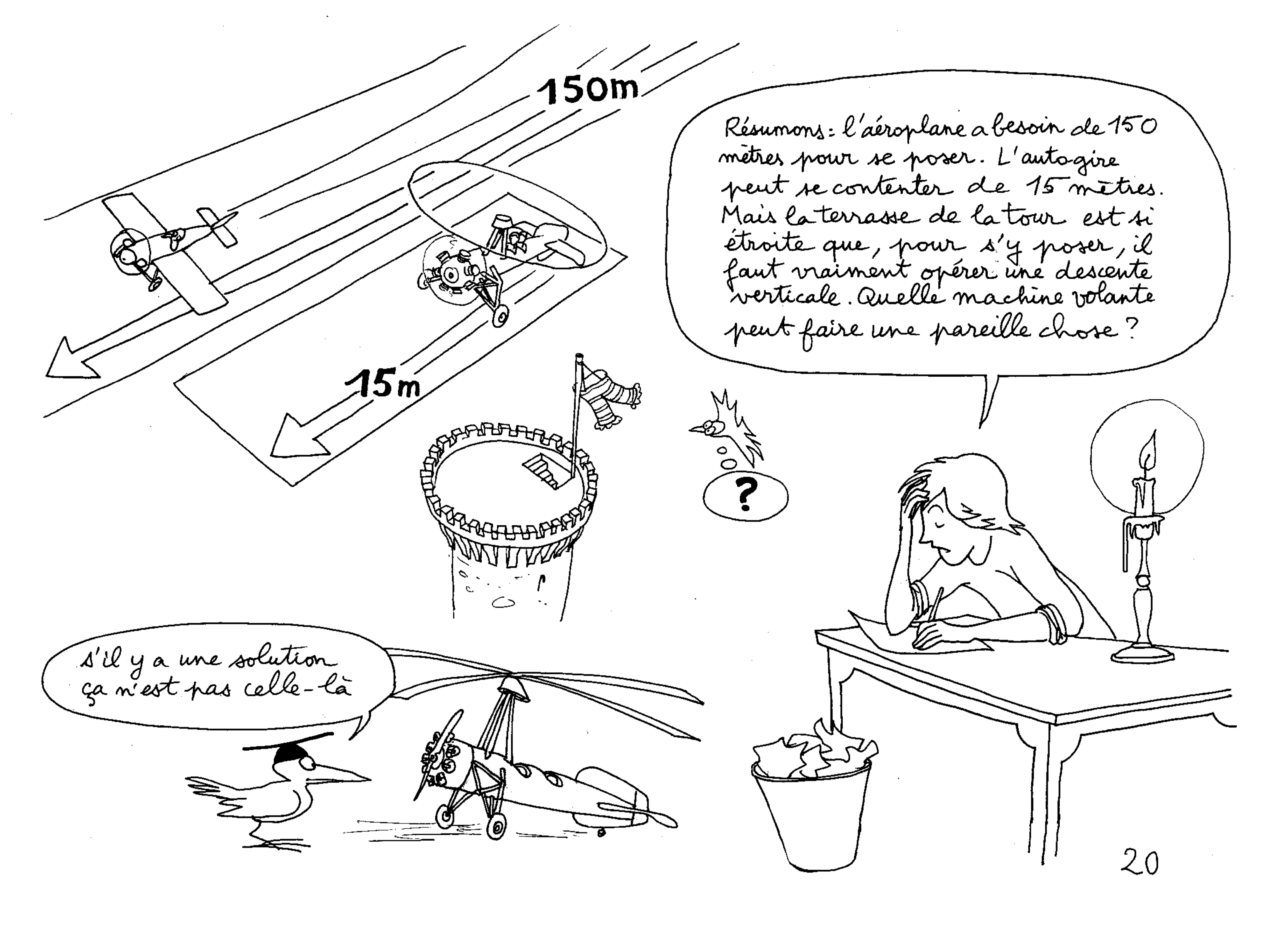


la portion d'écoulement turbulent ("traînante") se réduit au fur et à mesure que la rotation devient de plus en plus rapide. Apparaît alors en bout de pale une portion "traînante"



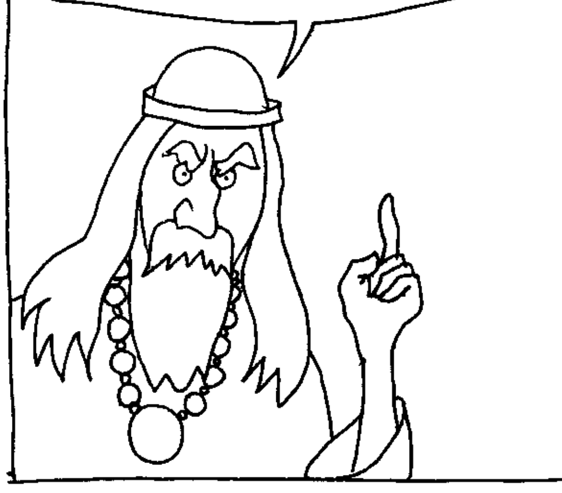
la vitesse de rotation se stabilise quand les deux couples s'équilibrent. Le régime d'autorotation est alors pleinement établi et la vitesse de descente est minimale


On obtiendrait un écoulement similaire si on lâchait un disque qui ne tourne pas, doté de perforations dont le diamètre décroît du centre à la périphérie, ce qui crée des zones de porosités différentes. La Direction
gros trous : passage d'air fortement turbulent
lest
ce disque ne tourne pas
zone "poreuse"
pas de trous : le fluide contourne le disque
que se serait-il passé si vous n'aviez pas donné une impulsion en rotation suffisante au départ ?
la vitesse au bout des pales n'aurait pas été suffisante pour que l'écoulement "recolle" sur le profil. Donc pas de force motrice. Pas d'établissement du régime d'autorotation : la maquette tombe comme un caillou !
j'avais pensé un instant que ce dispositif aurait pu permettre à mademoiselle Cunégonde de négocier son évasion. Mais je crois que c'est une affaire à se rompre les os
et l'autogire ?
et pourtant il tourne (*)
En somme l'autogire a un air de parenté avec un cerf-volant dont la toile aurait une porosité décroissante, du centre au bord, avec un gros trou au centre, par lequel passe de l'air turbulent
maintenant que le mystère de l'autorotation de son rotor est élucidé il reste à ajouter à tout cela un zeste d'obliquité. Le rotor se comporte alors comme un disque à porosité décroissant, du centre vers sa périphérie
(*) et pur se muove (Galilée)


150m
15m
Résumons : l'aéroplane a besoin de 150 mètres pour se poser. L'autogire peut se contenter de 15 mètres. Mais la terrasse de la tour est si étroite que, pour s'y poser, il faut vraiment opérer une descente verticale. Quelle machine volante peut faire une pareille chose ?
?
s'il y a une solution ça n'est pas celle-là

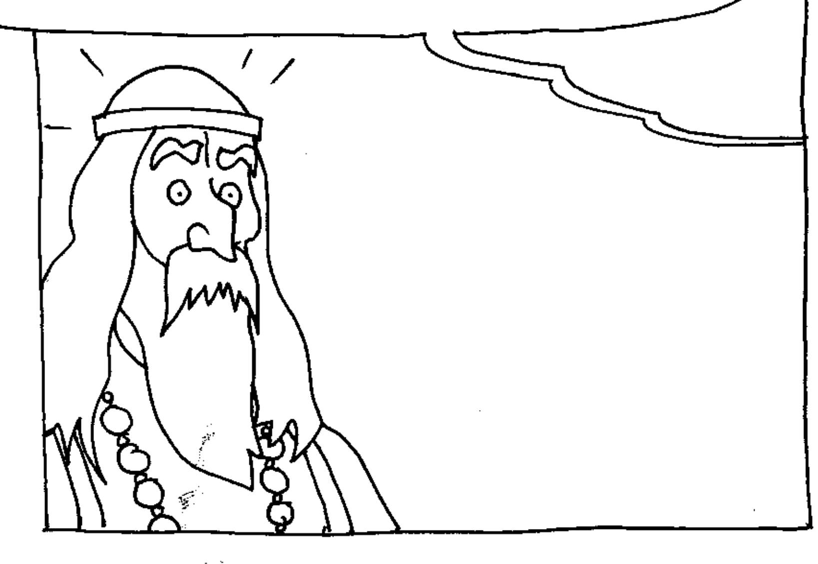

venez vite, il se passe des choses dans la tour
quoi! qu'est-ce qu'il y a encore!?
je crois que Cunégonde est en train de tout casser
faites attention vous marchez sur ma traîne!
mais, pourquoi portez-vous des trucs aussi longs?
mon ami, vous n'entendez rien à la mode
je VEUX épouser Candide!



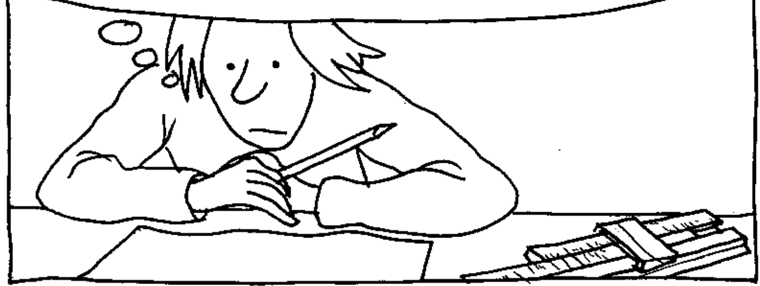

il n'en est pas question ! Jamais ma fille n'épousera un simple roturier !

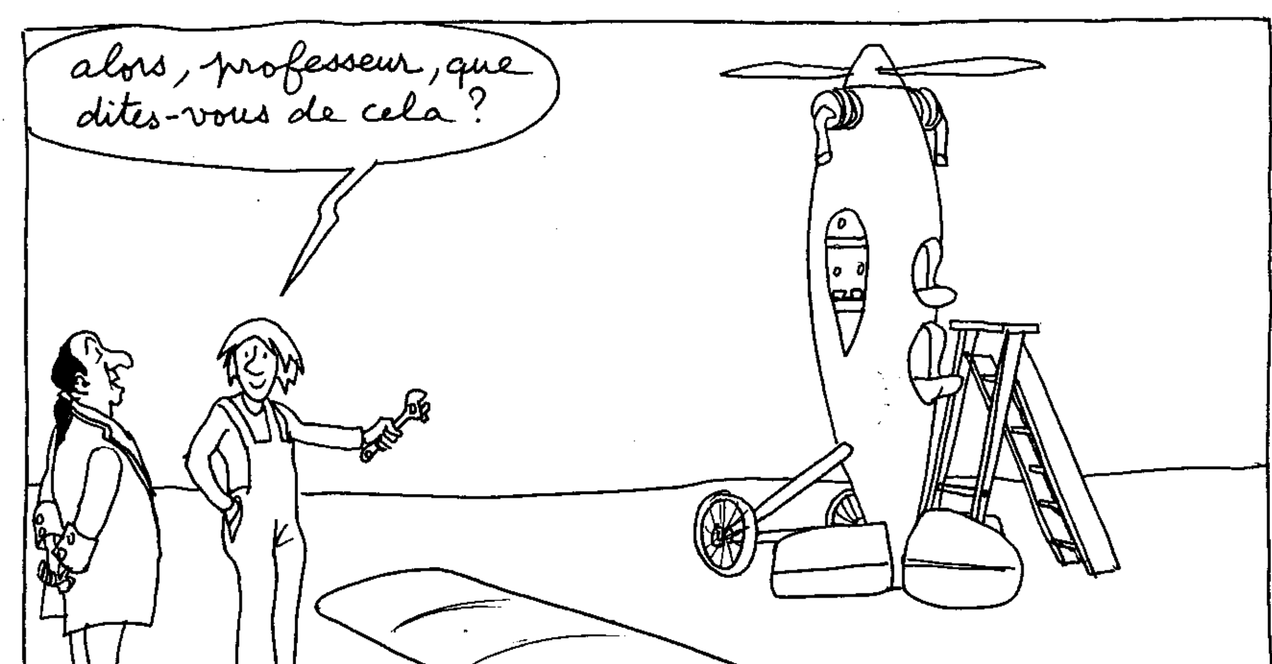

mais Candide n'est pas un roturier. Il est le fils d'une de vos parentes !
... et de quatre-vingts chasseurs... du moins de l'un d'entre eux

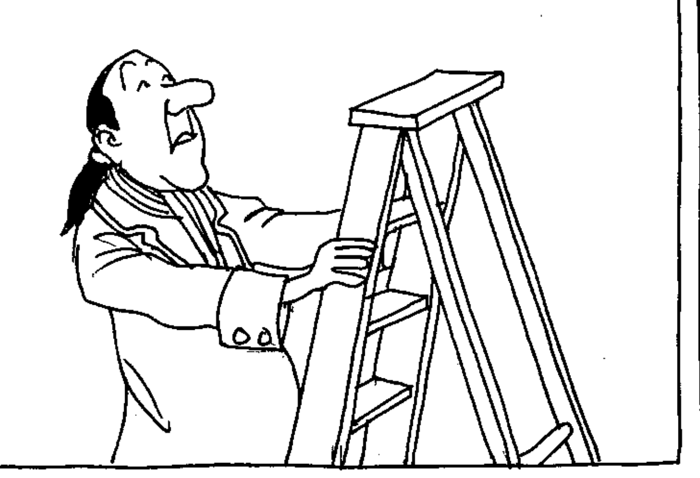


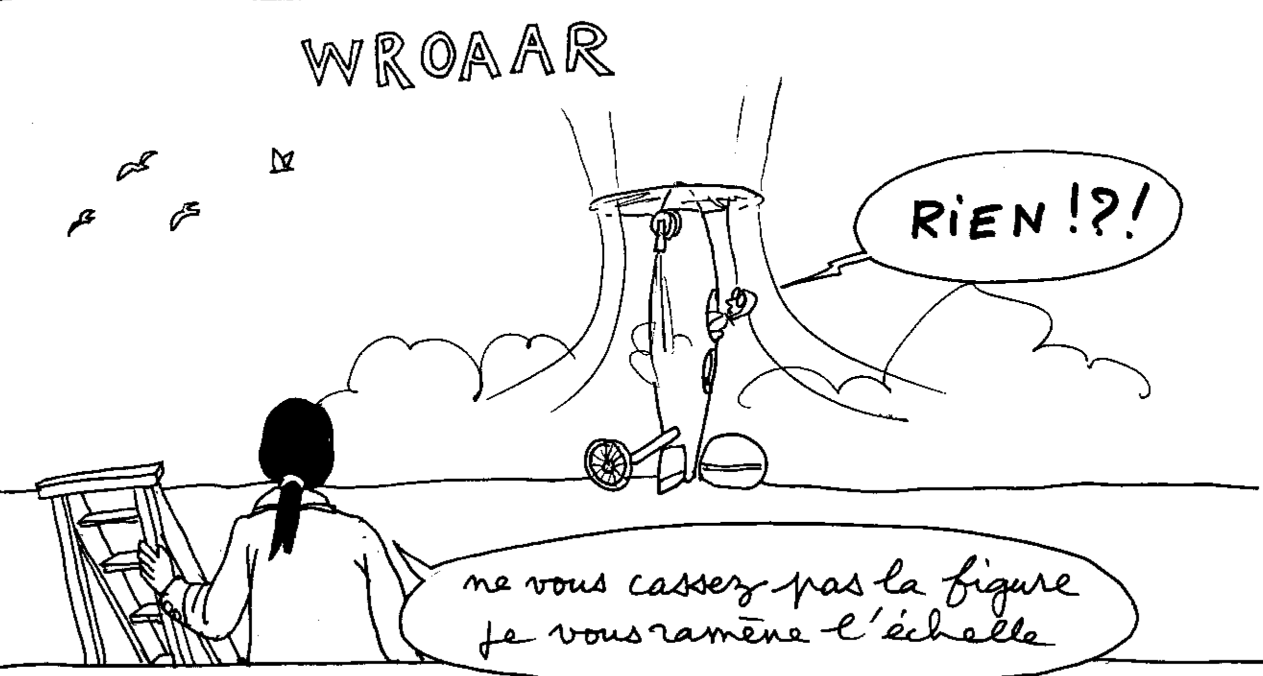

mais, père, ces quatre vingts chasseurs étaient tous de bonne naissance


Hmm... pour la diplomatie, on repassera une autre fois...


Finalement, ce pilote d'aéroplane n'avait pas tort en voulant cabrer son appareil. Le mieux serait de transformer son hélice tractive en dispositif de sustentation. Et alors, tant qu'à faire, autant enlever carrément les ailes

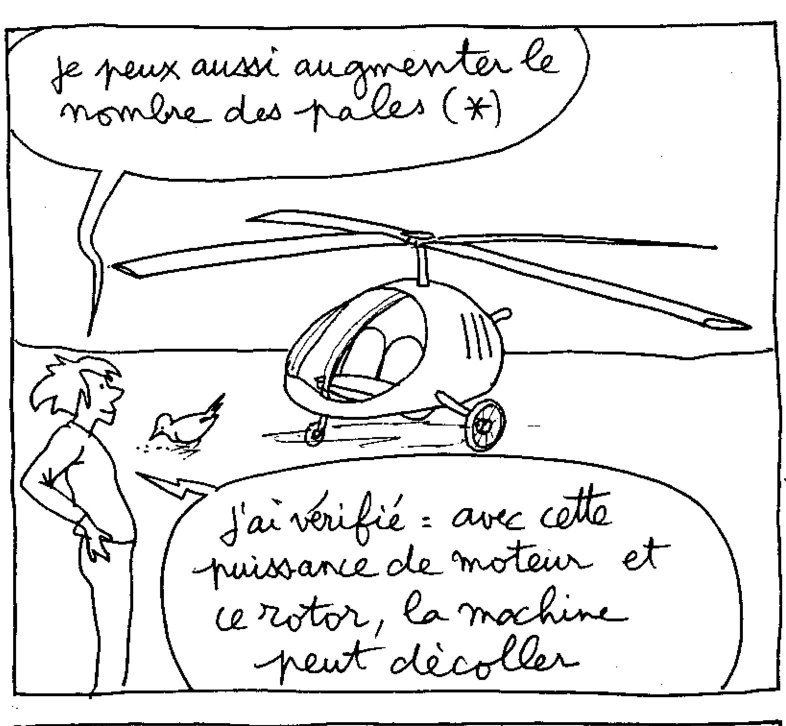

alors, professeur, que dites-vous de cela ?

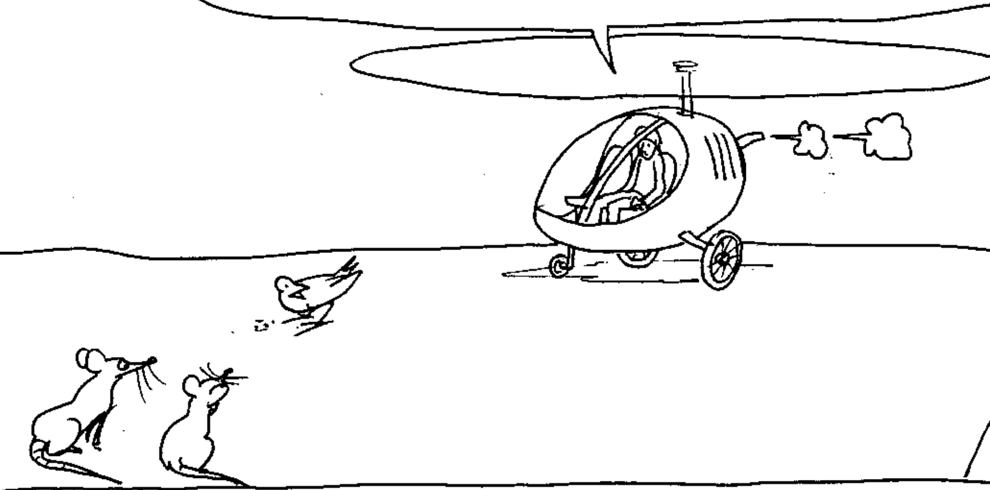

vous pouvez enlever l'échelle je vais mettre les gaz à fond

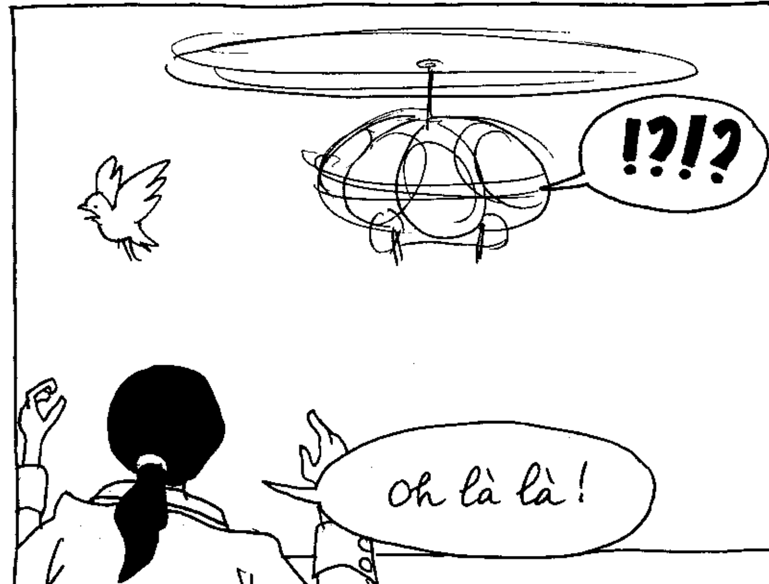

WROAAR
RIEN !?!
ne vous cassez pas la figure je vous ramène l'échelle

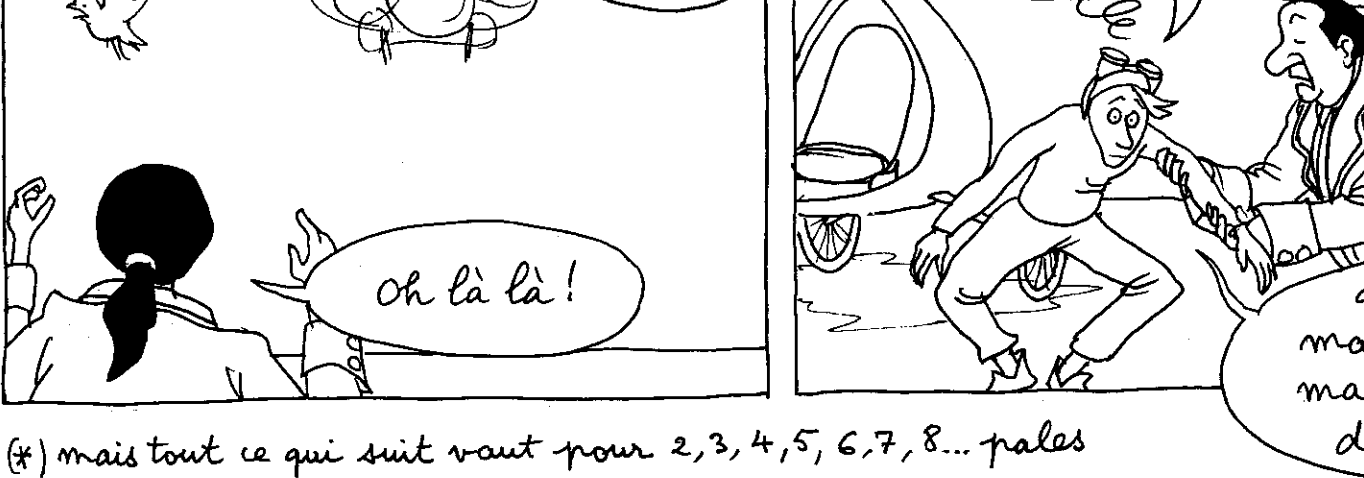

les ailes peuvent aussi servir à voler ?!?
Hmm...
venez voir
c'est quoi, la vitesse induite ?
écoute ce qu'il raconte
c'est vrai qu'on va être équipés d'hélices ?
euh...
voler ? absurde !
est-ce que ça pourra faire de la marche arrière ce truc ?
si je rogne les ailes d'un albatros il ne décollera plus. Inversement, si je rallongeais les ailes d'un pingoin..
Hein !?!
lâchez moi immédiatement !
mon "pingoin" à moi a peut être des "ailes" trop courtes. Je ne peux pas augmenter le régime de mon moteur indéfiniment, pour accroître la vitesse des pales de mon hélice. Or la portance croît comme le carré de la vitesse. Solution : augmenter la surface portante, tout en conservant l'allongement : un albatros vole mieux qu'un pigeon. Je vais donc allonger les pales de mon hélice. J'appelerai cela un ROTOR
IAARHH!!



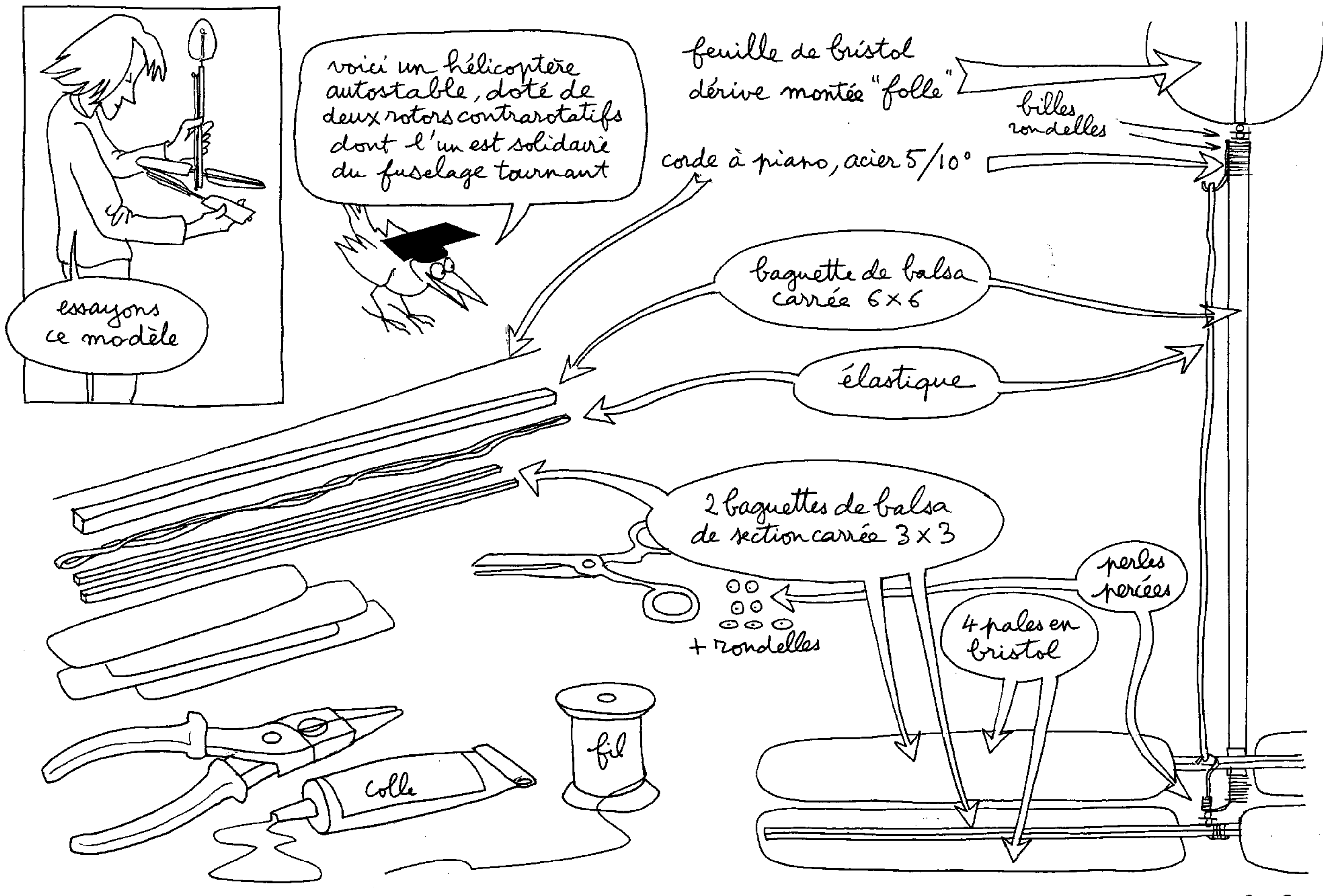


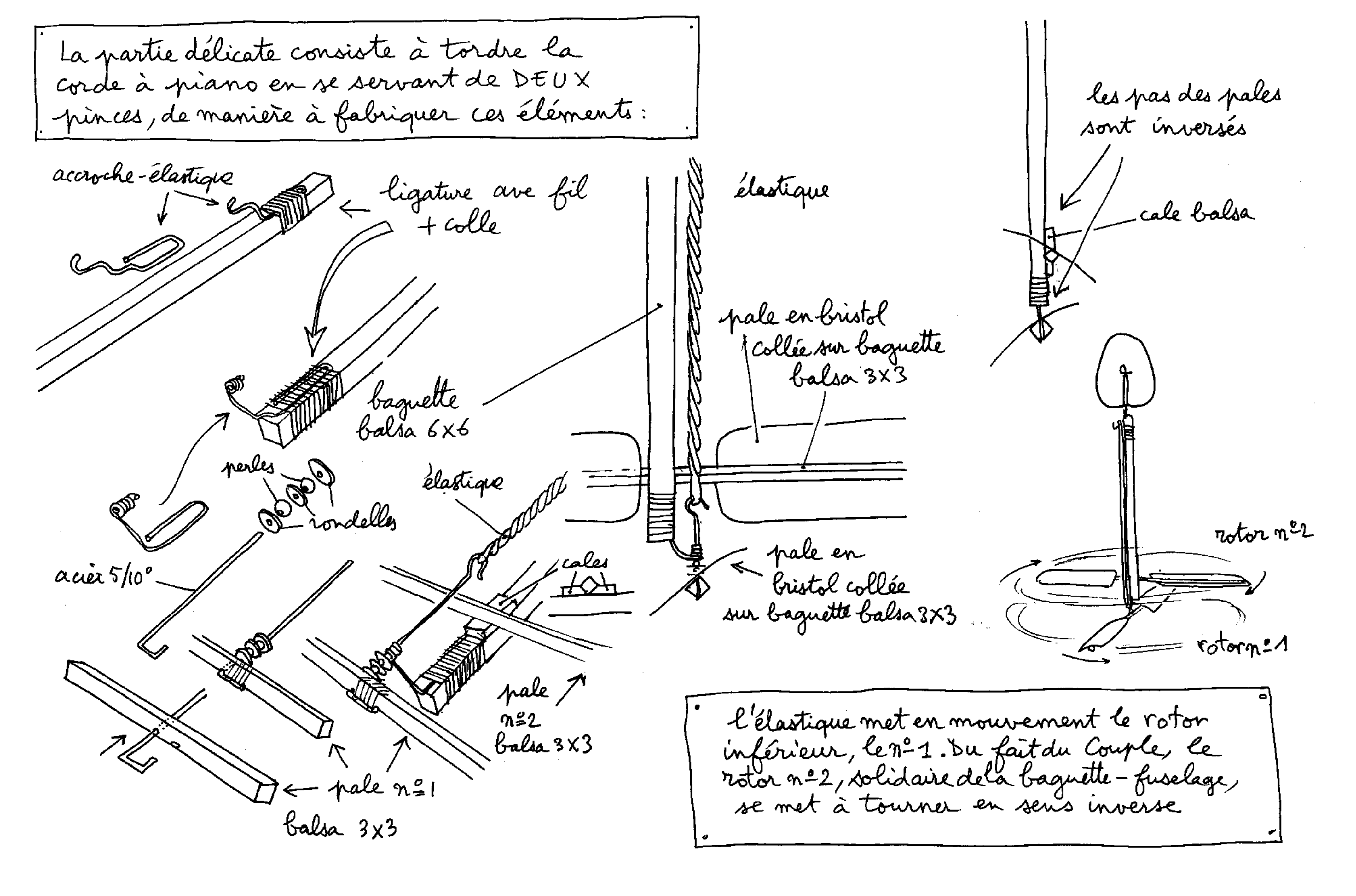


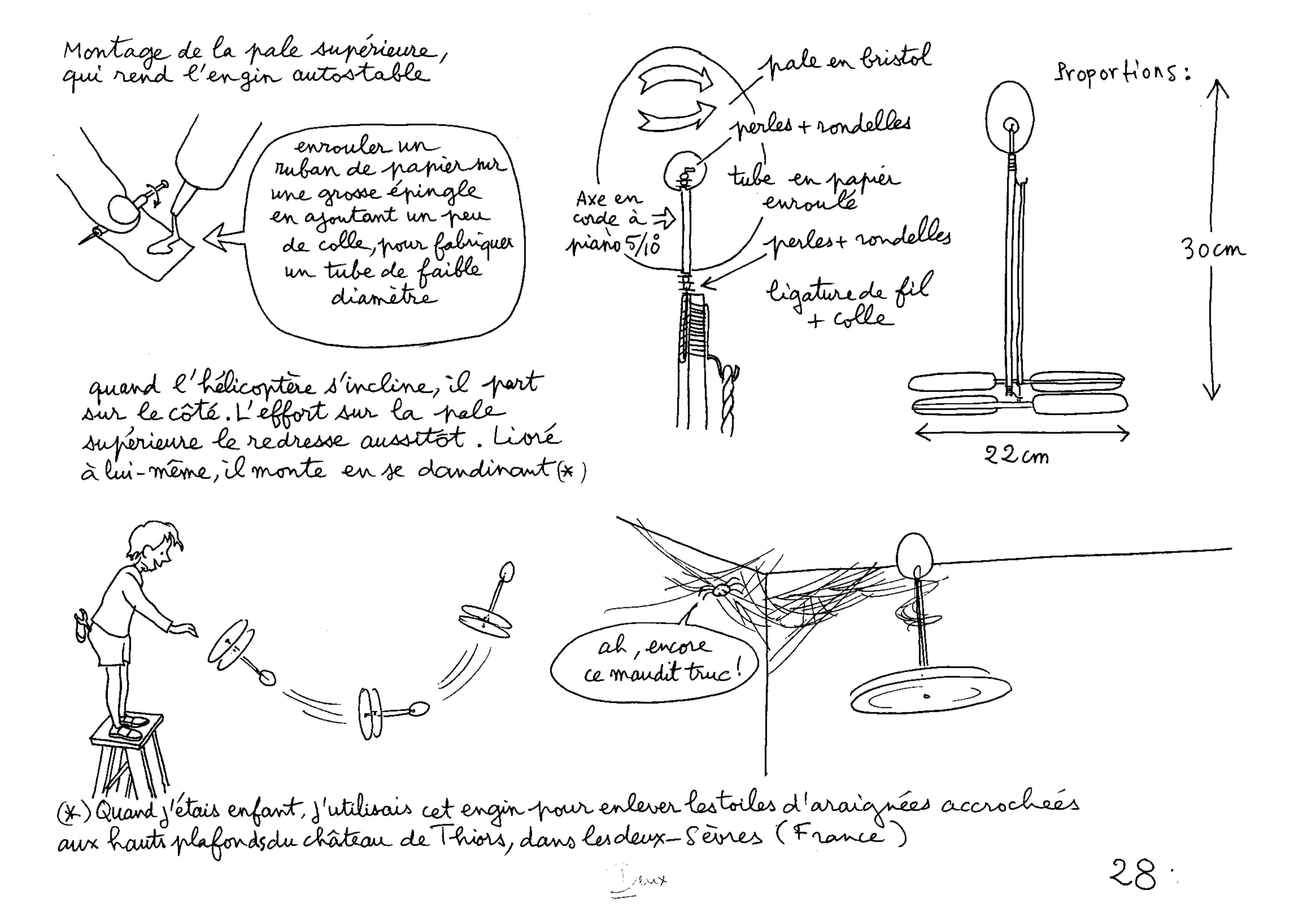




(*) mais tout ce qui suit vaut pour 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... pales


essayons ce modèle
voici un hélicoptère autostable, doté de deux rotors contrarotatifs dont l'un est solidaire du fuselage tournant
feuille de bristol
dérive montée "folle"
billes
rondelles
corde à piano, acier 5/10°
baguette de balsa carrée 6×6
élastique
2 baguettes de balsa de section carrée 3×3
perles percées
+ rondelles
4 pales en bristol
fil
colle


La partie délicate consiste à tordre la corde à piano en se servant de DEUX pinces, de manière à fabriquer ces éléments :
accroche-élastique
ligature ave fil + colle
baguette balsa 6x6
perles
rondelles
acier 5/10°
élastique
cales
pale n°2 balsa 3x3
pale n°1
balsa 3x3
élastique
pale en bristol collée sur baguette balsa 3x3
pale en bristol collée sur baguette balsa 3x3
les pas des pales sont inversés
cale balsa
rotor n°2
rotor n°1
l'élastique met en mouvement le rotor inférieur, le n°1. Du fait du Couple, le rotor n°2, solidaire de la baguette-fuselage, se met à tourner en sens inverse

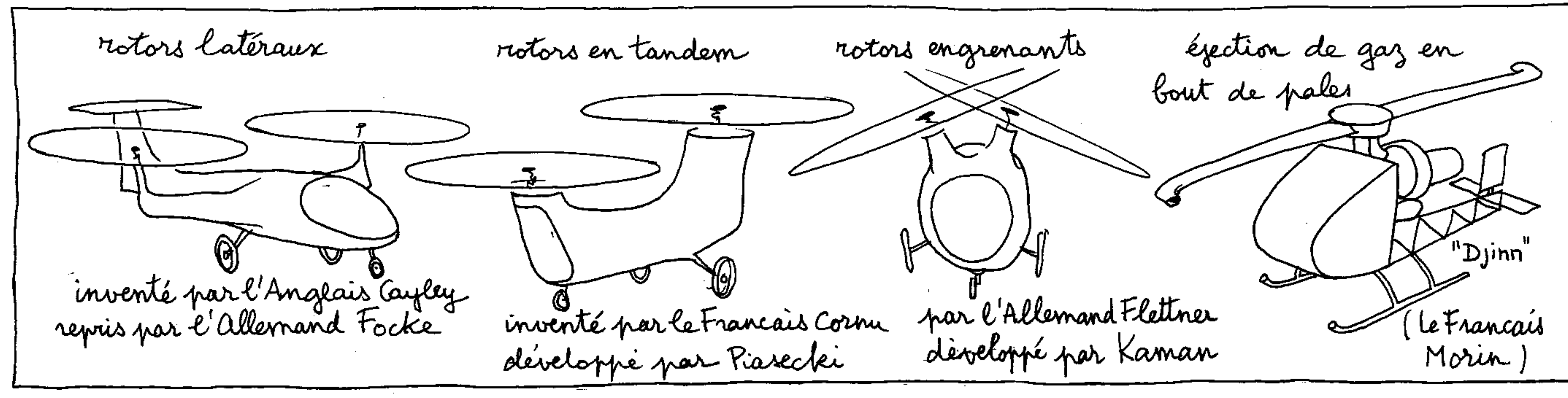


Montage de la pale supérieure, qui rend l'engin autostable
enrouler un ruban de papier sur une grosse épingle en ajoutant un peu de colle, pour fabriquer un tube de faible diamètre
pale en bristol
perles + rondelles
tube en papier enroulé
Axe en corde à piano 5/10
perles + rondelles
ligature de fil + colle
Proportions :
30cm
22cm
quand l'hélicoptère s'incline, il part sur le côté. L'effort sur la pale supérieure le redresse aussitôt. Livré à lui-même, il monte en se dandinant (*)
ah, encore ce maudit truc !
(*) Quand j'étais enfant, j'utilisais cet engin pour enlever les toiles d'araignées accrochées aux hauts plafonds du château de Thiors, dans les deux-Sèvres (France)
28

non, c'est idiot. On ne va pas s'asseoir dans une cabine qui tourne

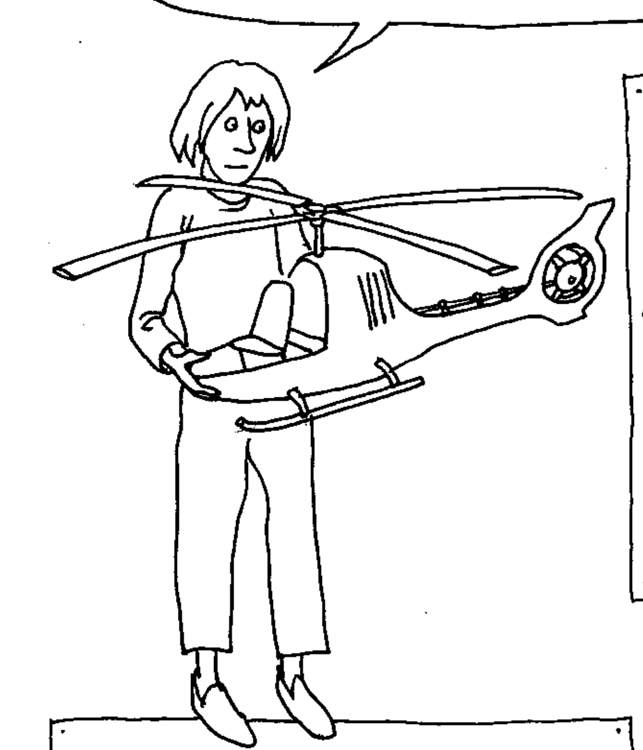
Candide envisagea différentes solutions

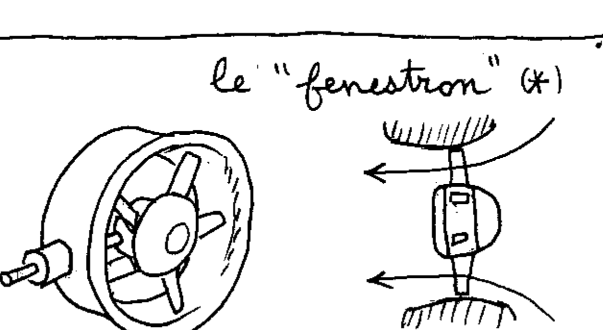
deux rotors contrarotatifs inventé par le Français Launey, diffusé par le Russe Kamov



Yves le Bec a écrit, en l'illustrant d'excellents dessins, un ouvrage intitulé "La véritable histoire de l'hélicoptère, de 1486 à 2005, publié aux éditions Ducretet SA, CH-1022 Chavannes-près-Renens ISBN 2-8399-0100-5. Vous y trouverez Tous les modèles d'hélicoptères imaginés par les hommes

je vais mettre un rotor anticouple au bout d'un empennage. En le couplant mécaniquement au rotor principal cela devrait marcher. Quand j'augmenterai le régime du moteur, le rotor de queue suivra et la compensation du couple sera assurée automatiquement

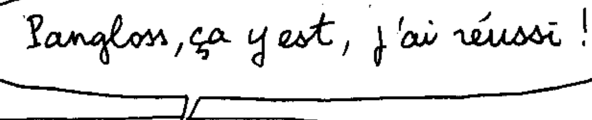


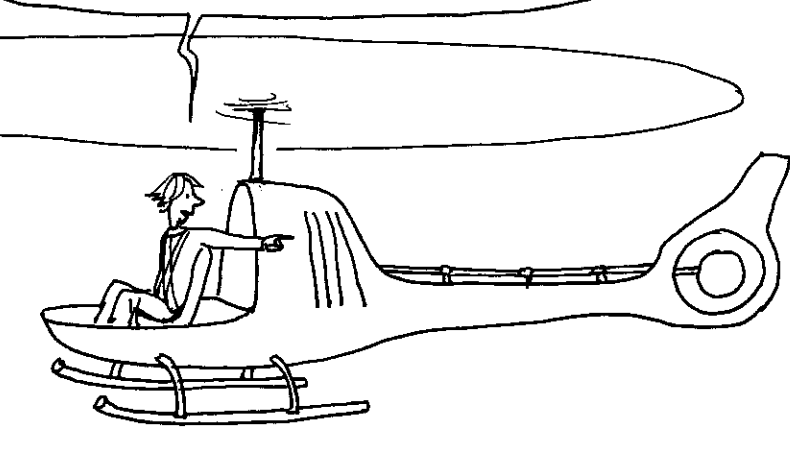


En disposant une hélice multipale dans un carénage on accroît son rendement et réduit le BRUIT

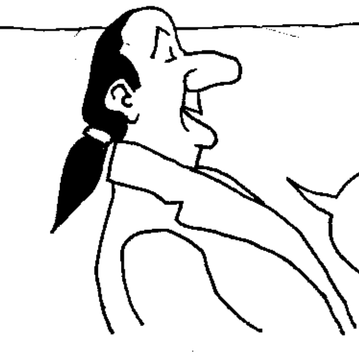


reviens immédiatement sinon tu vas être aspiré et changé en rondelles de saucisson





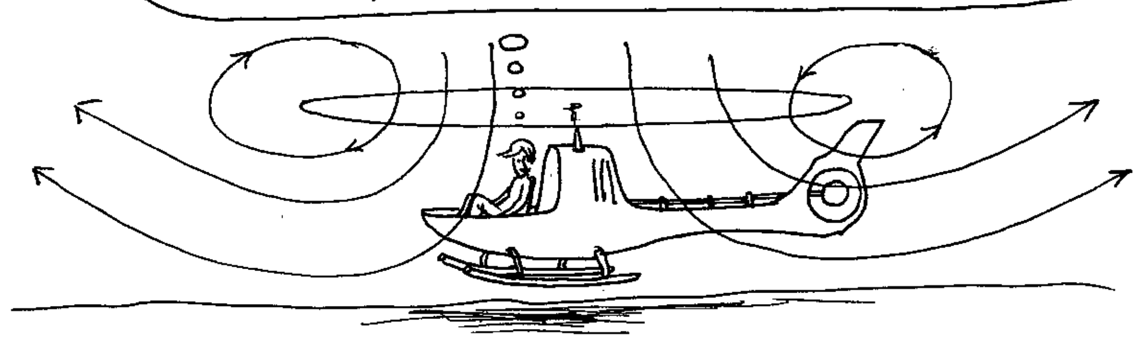
Le rotor de queue anticouple a été imaginé par le russe Yuriev et développé par Igor Sikorski
(*) Le fenestron a été introduit par le Français Mouille



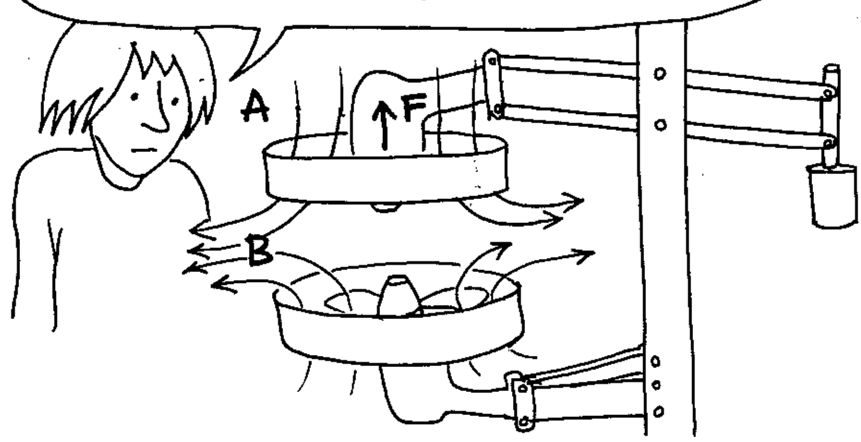
Ceci montre bien que tout est pour le mieux dans la meilleure des aéronautiques possibles

EFFET DE SOL

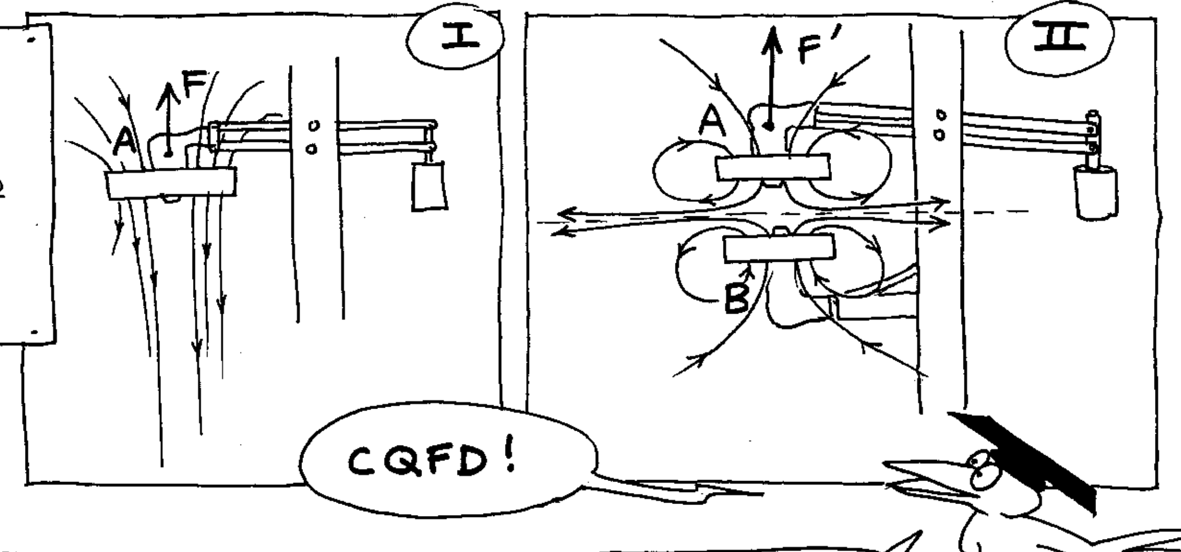
c'est curieux. Près du sol j'arrive à me maintenir avec une puissance sensiblement plus faible (*)



cette machine n'est rien d'autre qu'un bon gros ventilateur. Je vais en faire travailler deux en les mettant face à face



A régime égal la force ascensionnelle qui s'exerce sur le ventilateur **A** est plus importante quand il travaille face au ventilateur **B**, qui pousse l'air dans l'autre sens que si le ventilo **A** est seul



l'écoulement **II** est le même que si on faisait travailler le ventilateur **A** face au sol

(*) L'effet de sol devient important quand le rotor est à une distance du sol égale ou inférieure à la moitié de son diamètre

"PRENDRE DES TOURS"

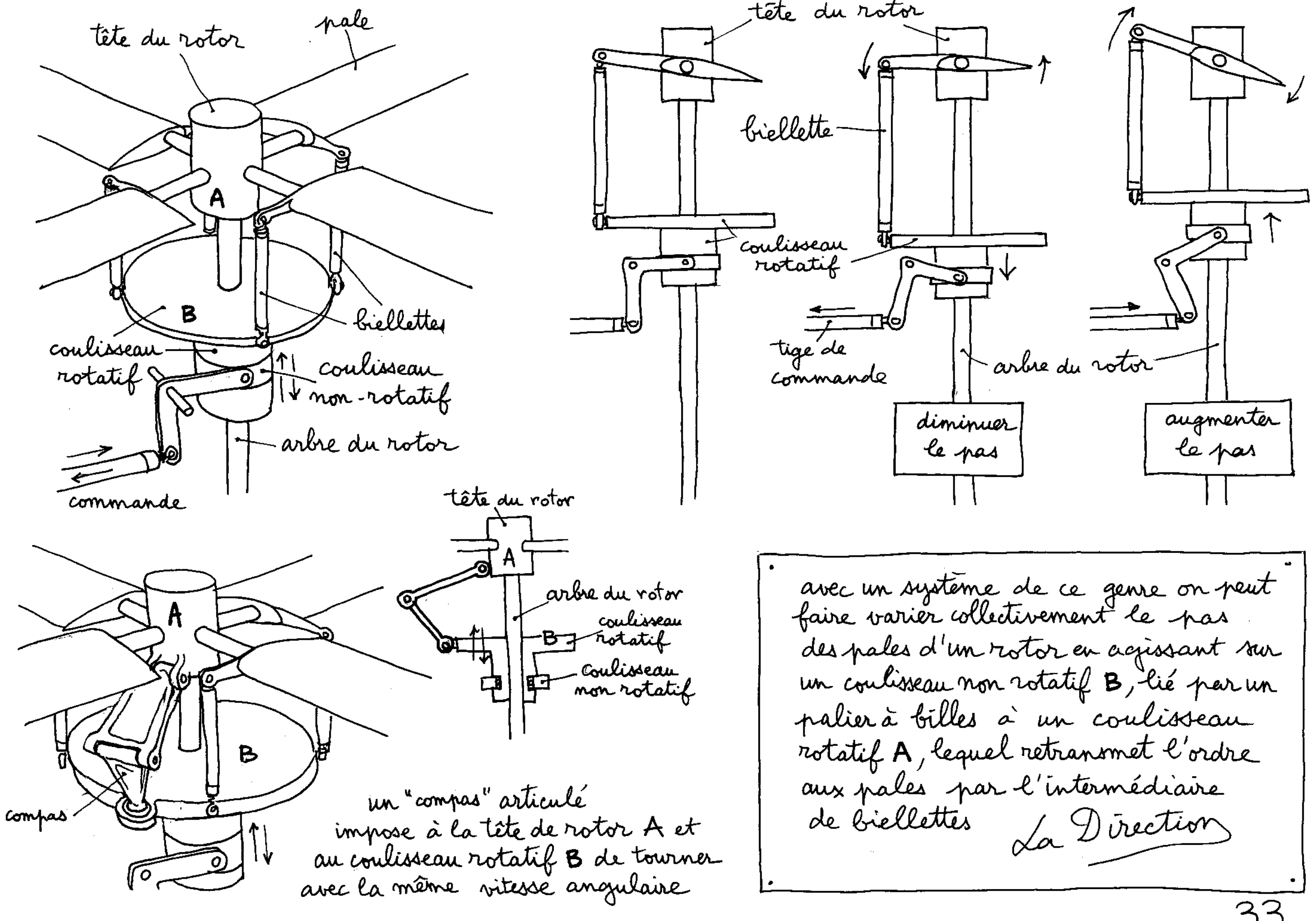


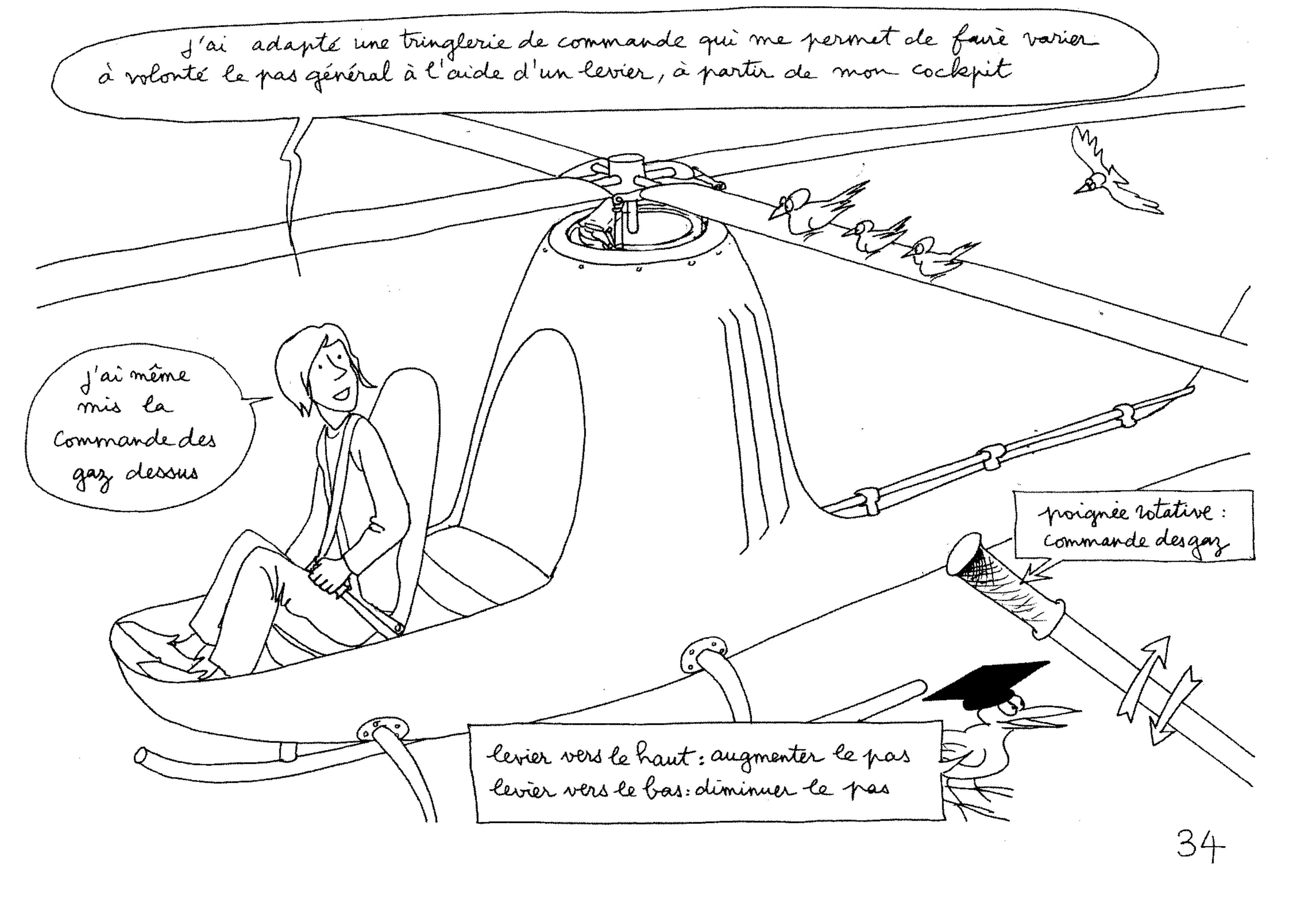
Si mon moteur, pour une raison quelconque, subit une perte de puissance, la traînée va ralentir sa rotation (*) Si la vitesse correspondant au **VENT RELATIF** diminue, le décrochage va s'étendre à tout le profil. Et si cela se produit, adieu baraque. Il faudrait immédiatement réduire le pas en mettant les gaz à fond, pour maintenir à tout prix le régime du rotor, pour regagner des tours

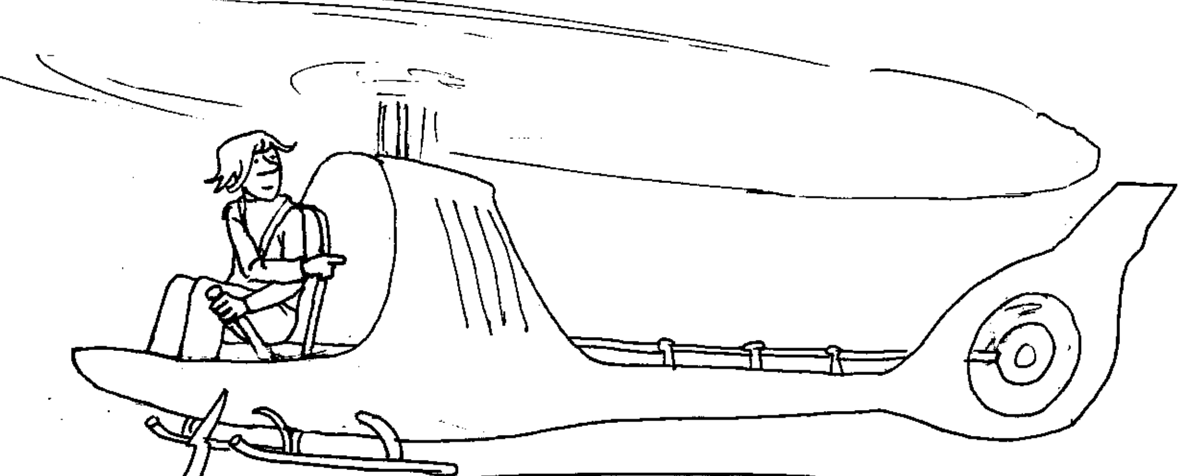




(*) un rotor dont le moteur cesserait brutalement de fonctionner serait dangereusement ralenti en... une seconde !


tête du rotor
pale
A
B
biellettes
coulisseau rotatif
coulisseau non-rotatif
arbre du rotor
commande
tête du rotor
biellette
coulisseau rotatif
tige de commande
arbre du rotor
diminuer le pas
augmenter le pas
A
B
compas
un "compas" articulé impose à la tête de rotor A et au coulisseau rotatif B de tourner avec la même vitesse angulaire
tête du rotor
A
arbre du rotor
B
coulisseau rotatif
coulisseau non rotatif
avec un système de ce genre on peut faire varier collectivement le pas des pales d'un rotor en agissant sur un coulisseau non rotatif B, lié par un palier à billes à un coulisseau rotatif A, lequel retransmet l'ordre aux pales par l'intermédiaire de biellettes
La Direction

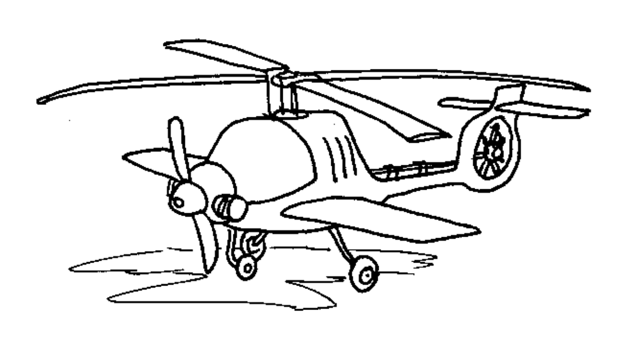

J'ai adapté une tringlerie de commande qui me permet de faire varier à volonté le pas général à l'aide d'un levier, à partir de mon cockpit
J'ai même mis la Commande des gaz dessus
poignée rotative : commande des gaz
levier vers le haut : augmenter le pas
levier vers le bas : diminuer le pas

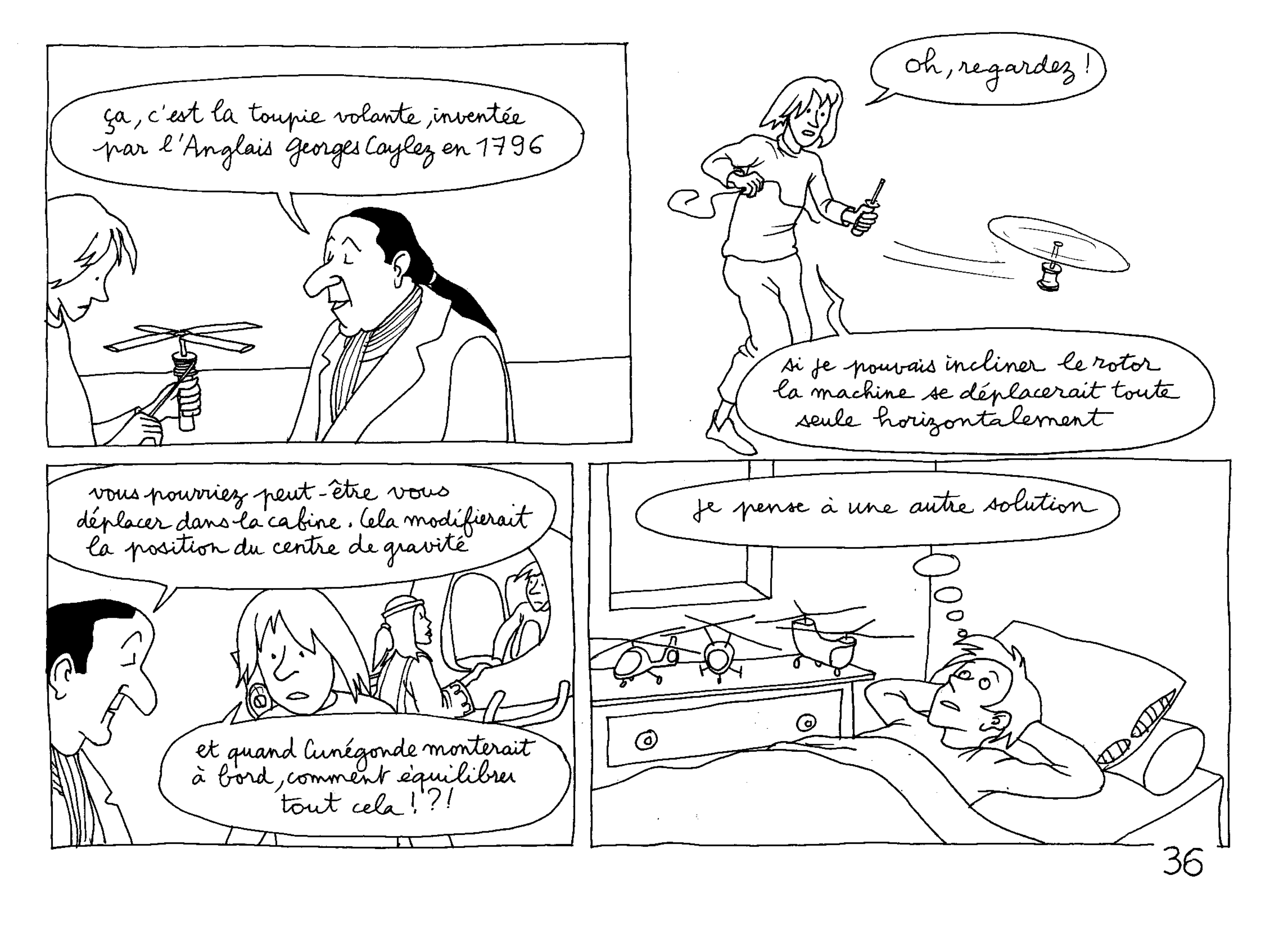

J'ai adapté le même système sur le rotor de queue, anticouple, pour éviter de faire des embardées quand je modifie le pas général. Et j'ai adjoint une commande aux pieds, par palonnier, qui me permet de tourner sur place


Quoi? J'entends rien...

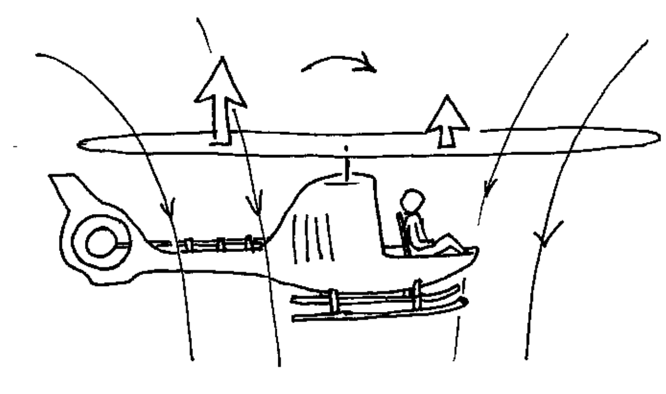

Bien. J'ai conçu cette machine volante capable de nous emporter, Cunégonde et moi. Je peux monter, descendre, tourner sur moi-même à volonté. Reste une question = comment avancer ?


Pourquoi ne pas ajouter une hélice, des gouvernes?
Tout cela me paraît bien compliqué

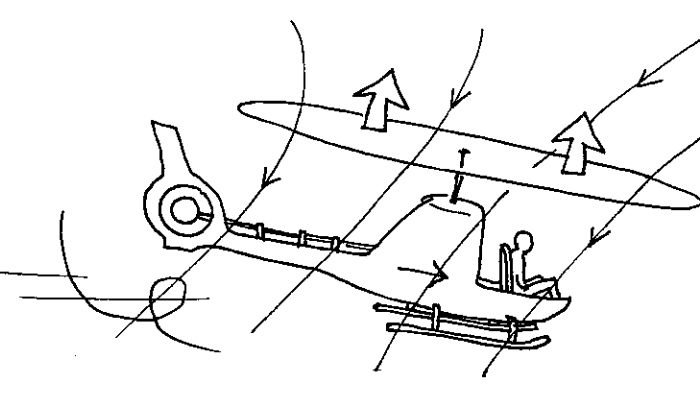



ça, c'est la toupie volante, inventée par l'Anglais Georges Cayley en 1796
Oh, regardez !
si je pouvais incliner le rotor la machine se déplacerait toute seule horizontalement
vous pourriez peut-être vous déplacer dans la cabine. Cela modifierait la position du centre de gravité
et quand Cunégonde monterait à bord, comment équilibrer tout cela !?!
je pense à une autre solution





TRANSLATION

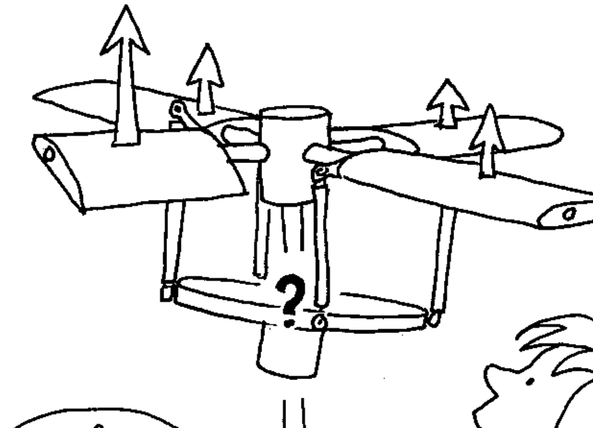




si je pouvais accroître la portance des pales de mon rotor quand celles-ci sont vers l'arrière et la diminuer quand elles sont vers l'avant, à l'aide d'une **VARIATION CYCLIQUE DU PAS** je pourrais provoquer le basculement de ma machine et l'engager dans un mouvement de **TRANSLATION**

plateau tournant coulissant

le pas de mes pales est donné par la position d'un plateau rotatif coulissant sur l'arbre du rotor



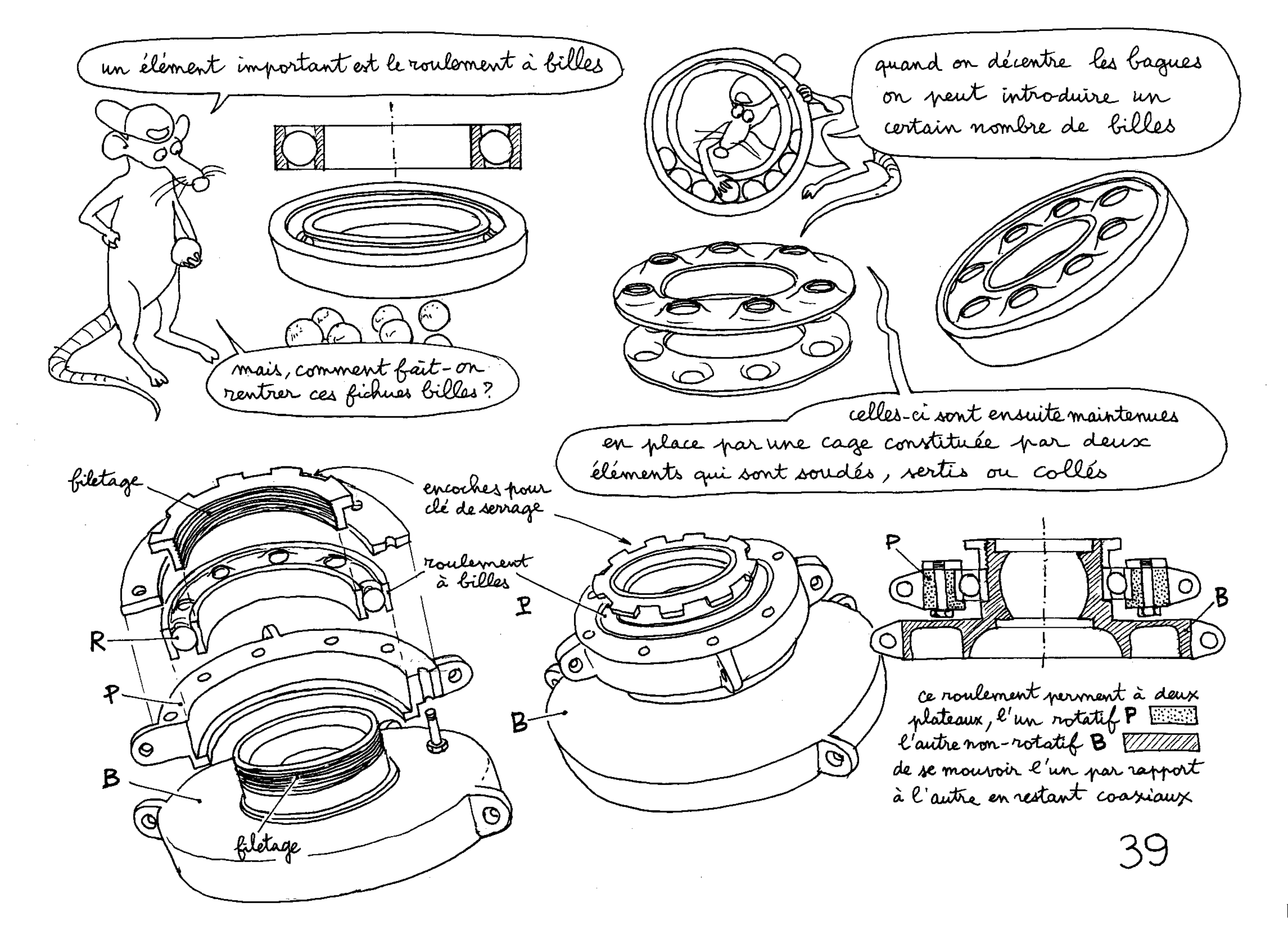
arbre du rotor

si je pouvais faire en sorte que ce plateau présente une inclinaison, tout en tournant, je pourrais créer cette variation cyclique du pas(*) des pales. Mais comment articuler et commander tout ce bazar !?!

(*) inventée par l'Espagnol **PESCARA** qui introduit le concept d'**AUTOROTATION**



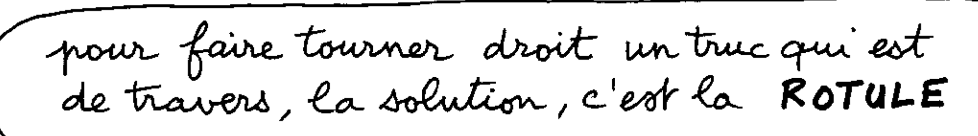
La vie d'un pilote d'hélicoptère est accrochée à une mécanique complexe, mettant en jeu des biellettes de ce genre, des engrenages, des roulements, tous ces éléments devant être usinés avec la plus grande précision, puis surveillés et périodiquement changés. Les coûts de fabrication et de maintenance sont plus importants que pour un avion. Depuis les années soixante-dix le recours à de nouveaux matériaux : composites, élastomères, composants à auto-lubrification a permis de réduire la complexité, le poids, les coûts de fabrication, le rythme de la maintenance, tout en gagnant en fiabilité, mais ceci sort du cadre du présent ouvrage.



un élément important est le roulement à billes
mais, comment fait-on rentrer ces fichues billes ?
quand on décentre les bagues on peut introduire un certain nombre de billes
celles-ci sont ensuite maintenues en place par une cage constituée par deux éléments qui sont soudés, sertis ou collés
filetage
encoches pour clé de serrage
roulement à billes
R
P
B
filetage
P
B
P
B
ce roulement permet à deux plateaux, l'un rotatif P
l'autre non-rotatif B
de se mouvoir l'un par rapport à l'autre en restant coaxiaux

je ne voudrais pas vous faire de peine, mon vieux, mais votre avion, sur le plan mécanique, à côté c'est de la rigolade





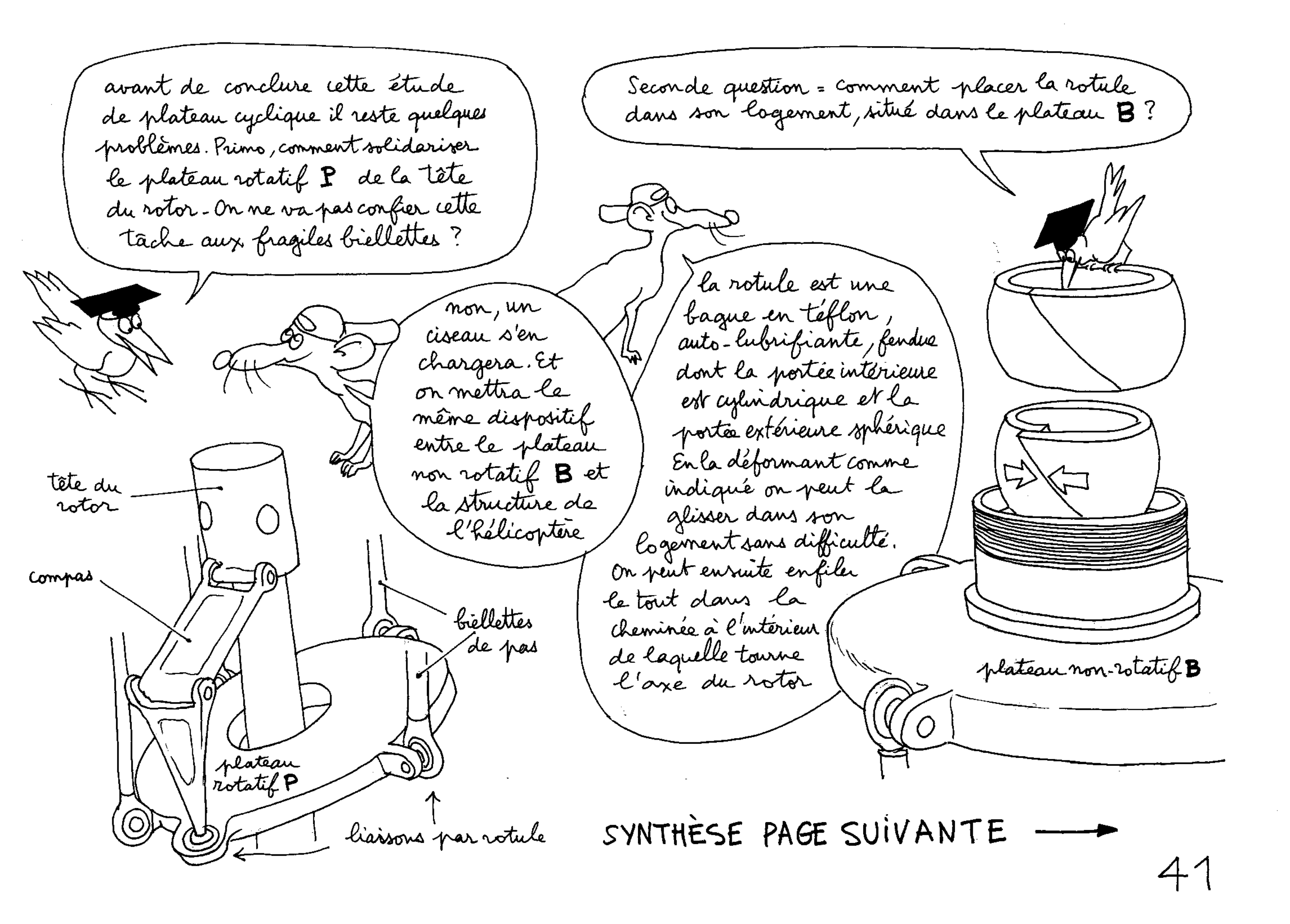


Sur cette rotule pivotera un plateau B, non rotatif, dont l'orientation sera fixée par la tringlerie des commandes de vol

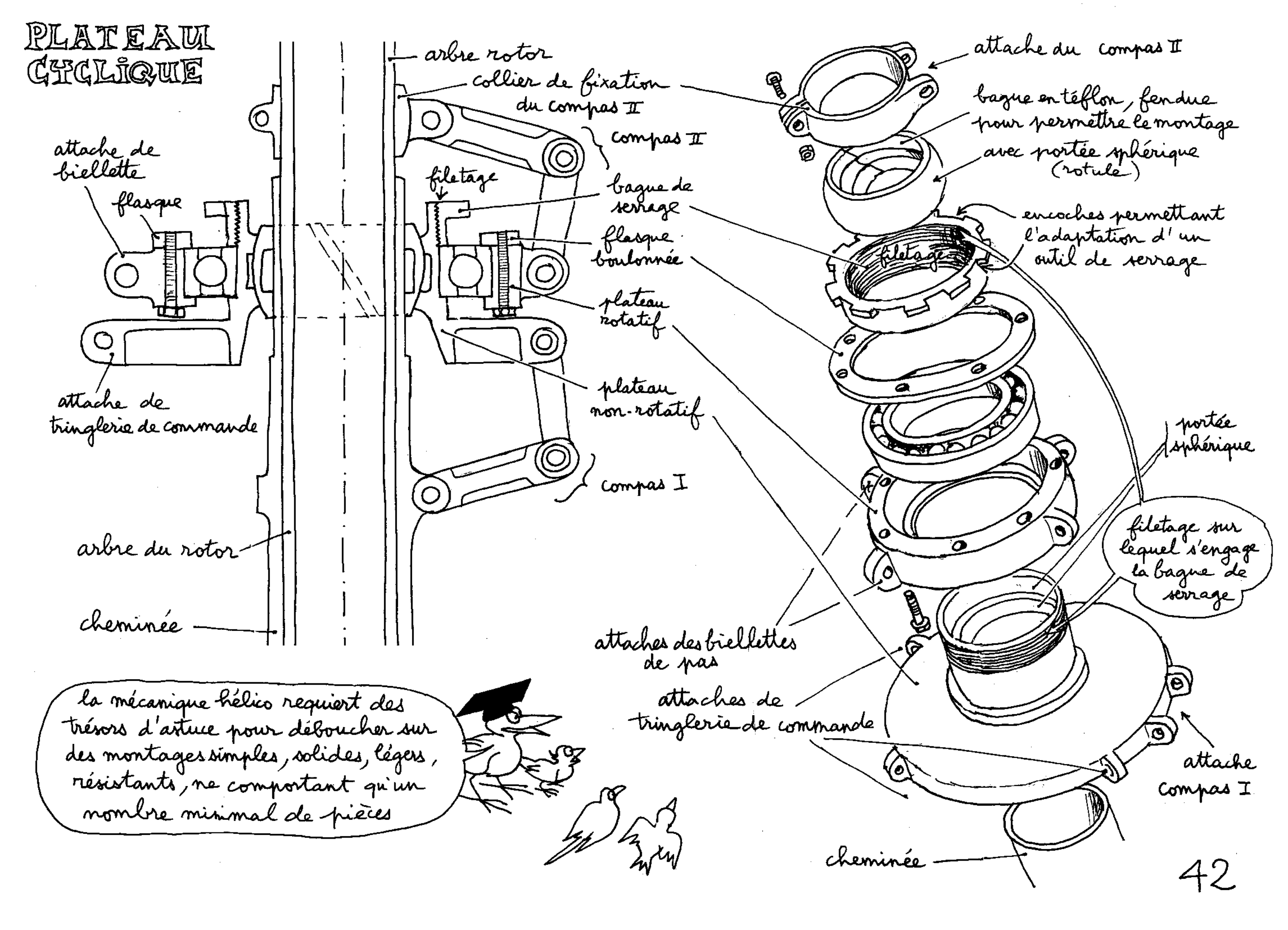
arbre du rotor
cheminée
rotule
3 tringles (commandes de vol)

le plateau non-rotatif B sera solidaire d'un plateau rotatif P par l'intermédiaire d'un roulement à billes (voir page précédente)
Le plateau rotatif commandera l'inclinaison des pales par l'intermédiaire de biellettes de pas

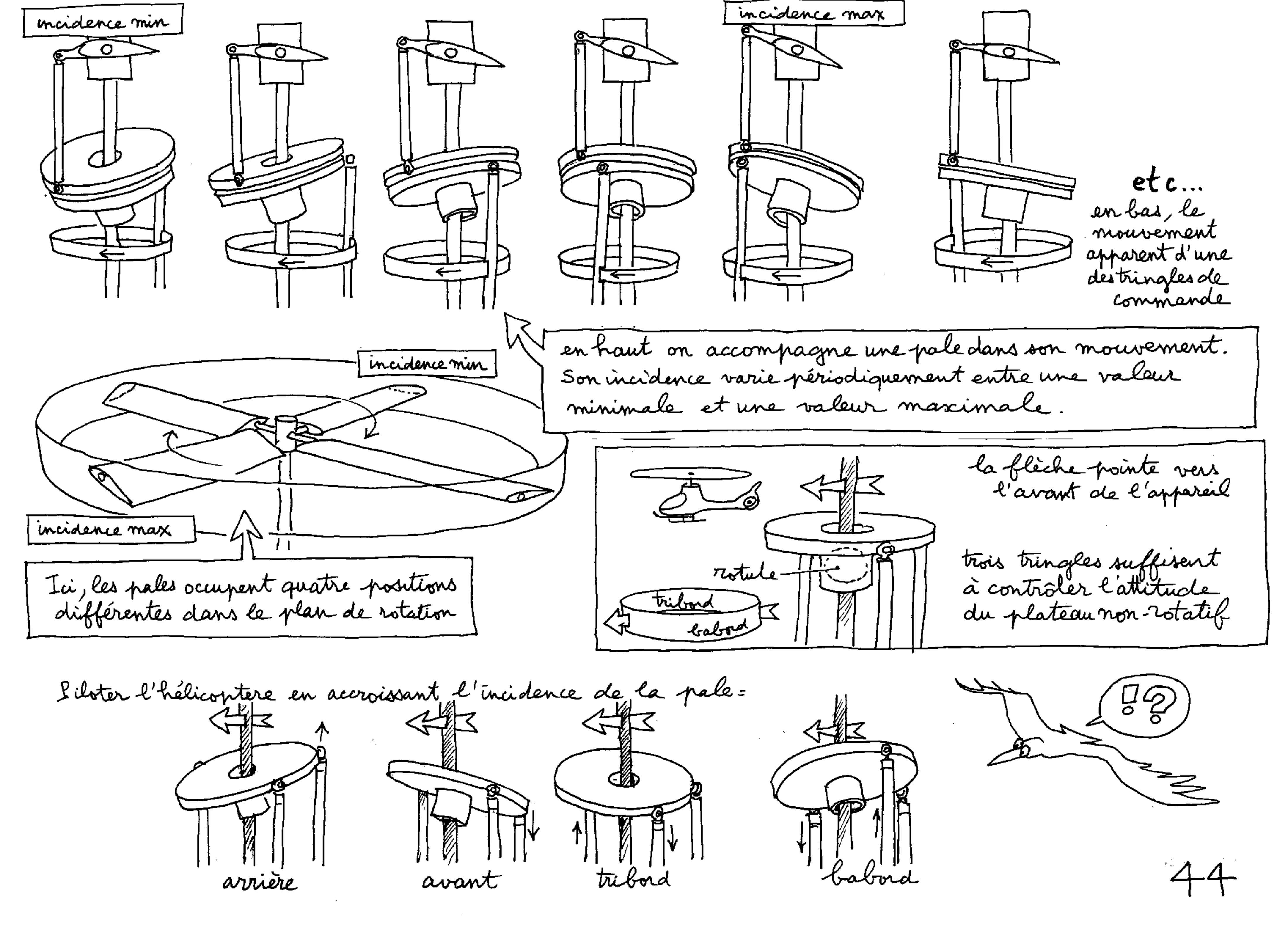
plateau rotatif P
jonctions à rotules

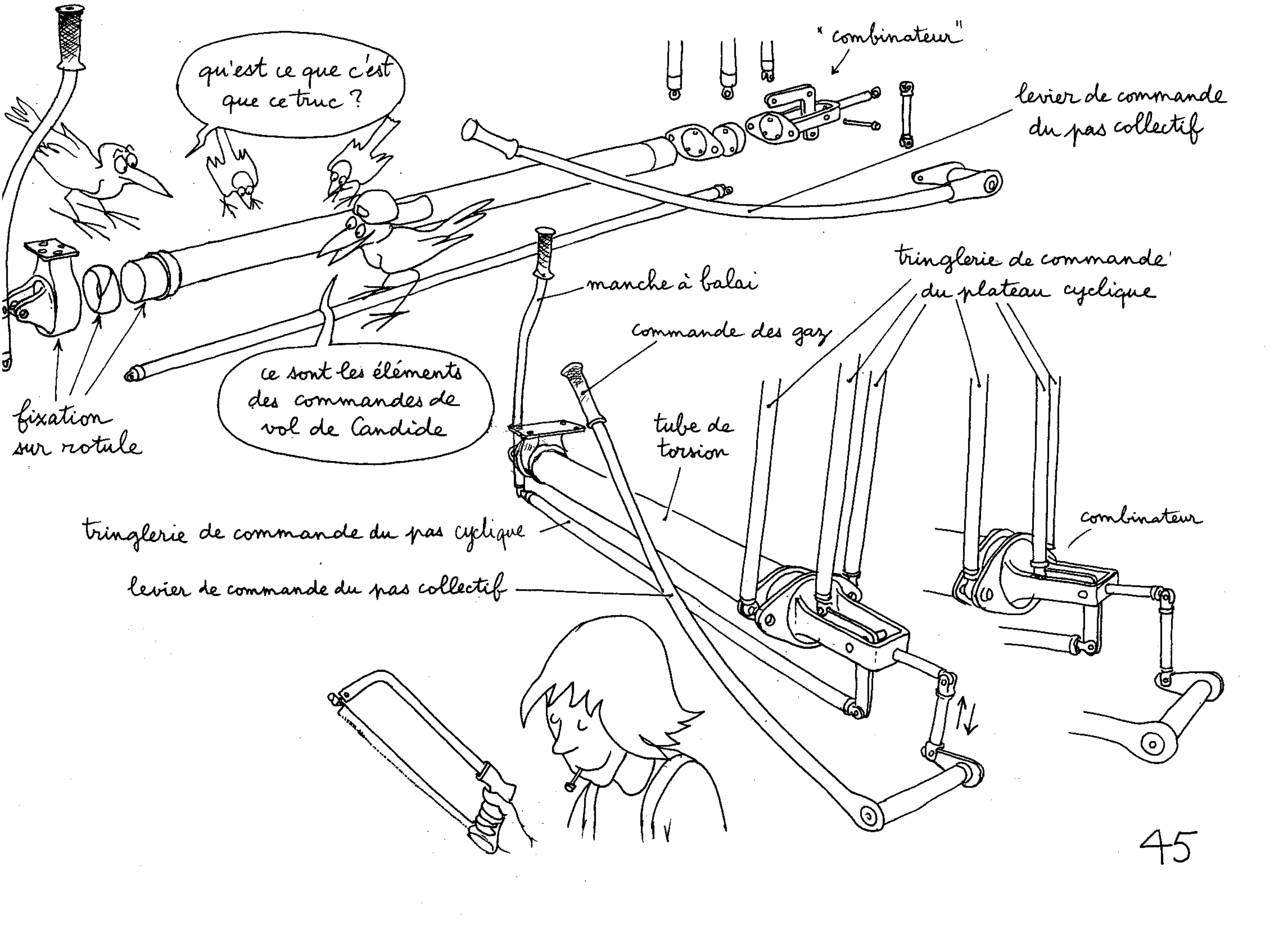


SYNTHÈSE PAGE SUIVANTE →

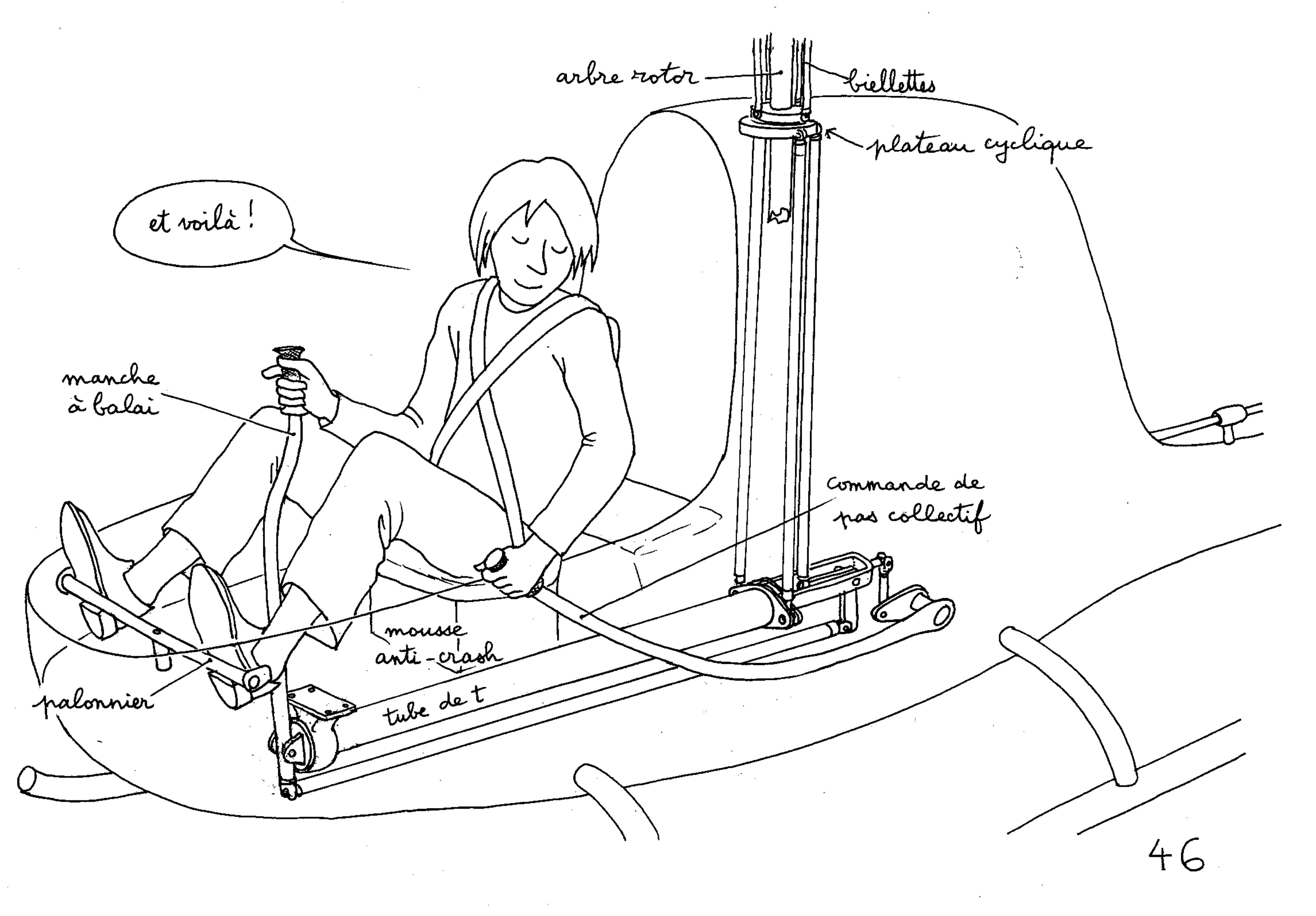

PLATEAU CYCLIQUE
arbre rotor
collier de fixation du compas II
compas II
attache de biellette
flasque
filetage
bague de serrage
flasque boulonnée
plateau rotatif
plateau non-rotatif
compas I
attache de tringlerie de commande
arbre du rotor
cheminée
attache du compas II
bague en téflon, fendue pour permettre le montage
avec portée sphérique (rotule)
encoches permettant l'adaptation d'un outil de serrage
filetage
portée sphérique
filetage sur lequel s'engage la bague de serrage
attaches des biellettes de pas
attaches de tringlerie de commande
attache compas I
cheminée
la mécanique hélico requiert des trésors d'astuce pour déboucher sur des montages simples, solides, légers, résistants, ne comportant qu'un nombre minimal de pièces

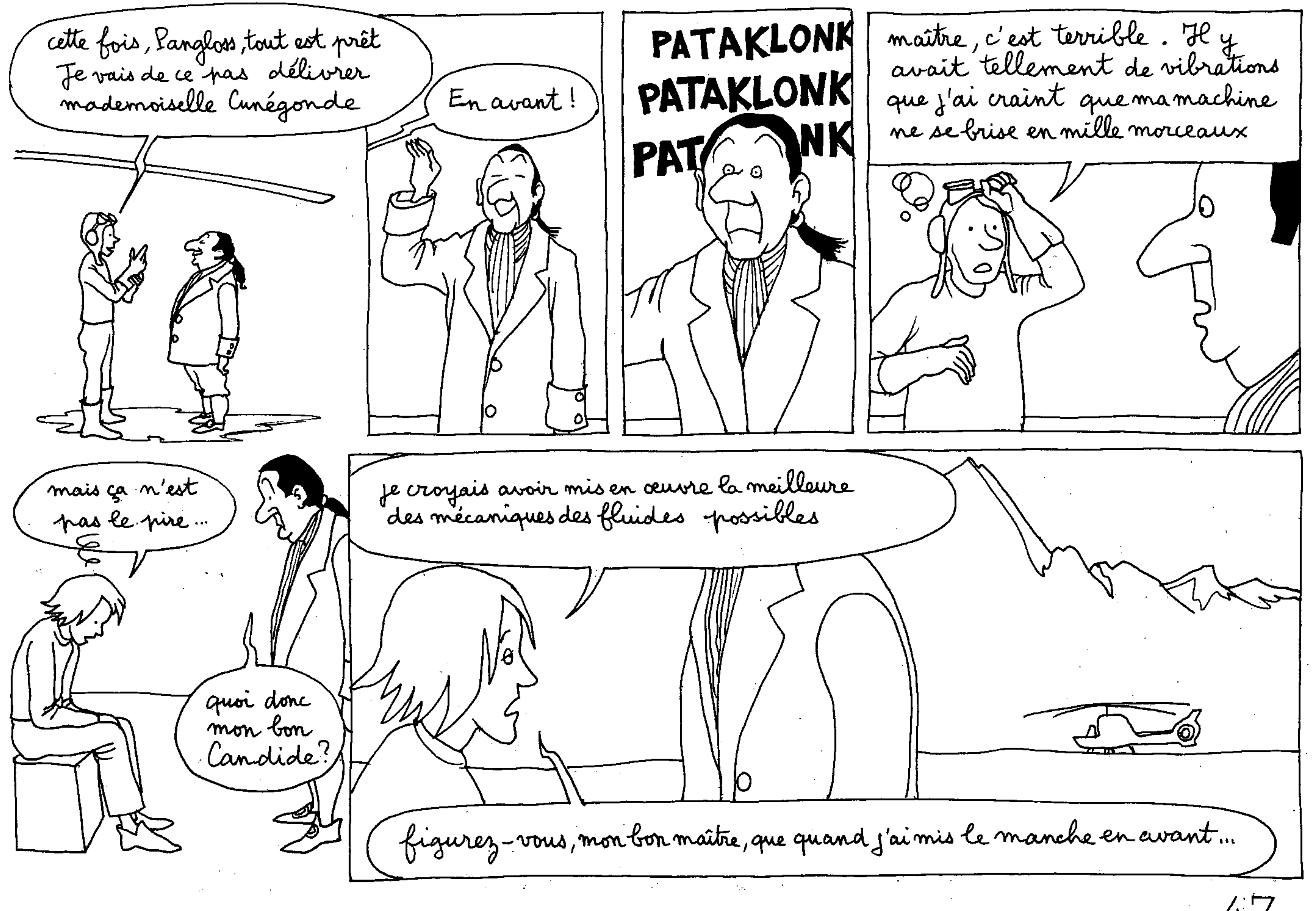

T
C_I
b
b
P
R
B
C_I
A
Ch
Revenons à une description schématique, plus lisible. Une tringlerie de commande A, constituée de trois barres, fait monter, descendre et basculer en tous sens un plateau non-rotatif B, guidé par la rotule R, laquelle coulisse librement sur la cheminée Ch, solidaire de la structure de l'hélicoptère. Un premier COMPAS C_I, fixé sur la cheminée Ch s'oppose à tout mouvement de rotation du plateau B par rapport à la structure de l'hélicoptère (cheminée Ch). Le plateau cyclique rotatif P est lié par un roulement à billes r au plateau non-rotatif B. L'attitude du plateau B est fixée par le pilote par l'intermédiaire de la tringlerie de commande A. Le plateau P répercute cet ordre aux pales par l'intermédiaire des biellettes b. Un second compas C_{II} rend solidaires la tête de rotor T et le plateau cyclique rotatif P faute de quoi les biellettes de pas b en se voyant confier ce rôle se briseraient immédiatement.
C_{II}
b
Ch
b
P
B
R
r
C_I
Ch
AR
AR
Ch
R
B
Ch
Il me faut maintenant concevoir des COMMANDES DE VOL me permettant d'actionner mes trois barres verticales
et le tour sera joué


incidence min
incidence max
etc...
en bas, le mouvement apparent d'une des tringles de commande
en haut on accompagne une pale dans son mouvement. Son incidence varie périodiquement entre une valeur minimale et une valeur maximale.
incidence min
incidence max
Ici, les pales occupent quatre positions différentes dans le plan de rotation
la flèche pointe vers l'avant de l'appareil
rotule
tribord
babord
trois tringles suffisent à contrôler l'attitude du plateau non-rotatif
Piloter l'hélicoptère en accroissant l'incidence de la pale :
arrière
avant
tribord
babord
!?



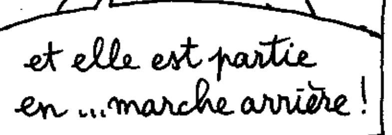
qu'est ce que c'est que ce truc ?
ce sont les éléments des commandes de vol de Candide
"combinateur"
levier de commande du pas collectif
fixation sur rotule
manche à balai
commande des gaz
tringlerie de commande du plateau cyclique
tube de torsion
combinateur
tringlerie de commande du pas cyclique
levier de commande du pas collectif


arbre rotor
biellettes
plateau cyclique
et voilà !
manche
à balai
commande de
pas collectif
mousse
anti-crash
palonnier
tube de t


cette fois, Pangloss, tout est prêt Je vais de ce pas délivrer mademoiselle Cunégonde
En avant !
PATAKLONK
PATAKLONK
PAT NK
maître, c'est terrible. Il y avait tellement de vibrations que j'ai craint que ma machine ne se brise en mille morceaux
mais ça n'est pas le pire...
quoi donc mon bon Candide ?
je croyais avoir mis en œuvre la meilleure des mécaniques des fluides possibles
figurez-vous, mon bon maître, que quand j'ai mis le manche en avant...



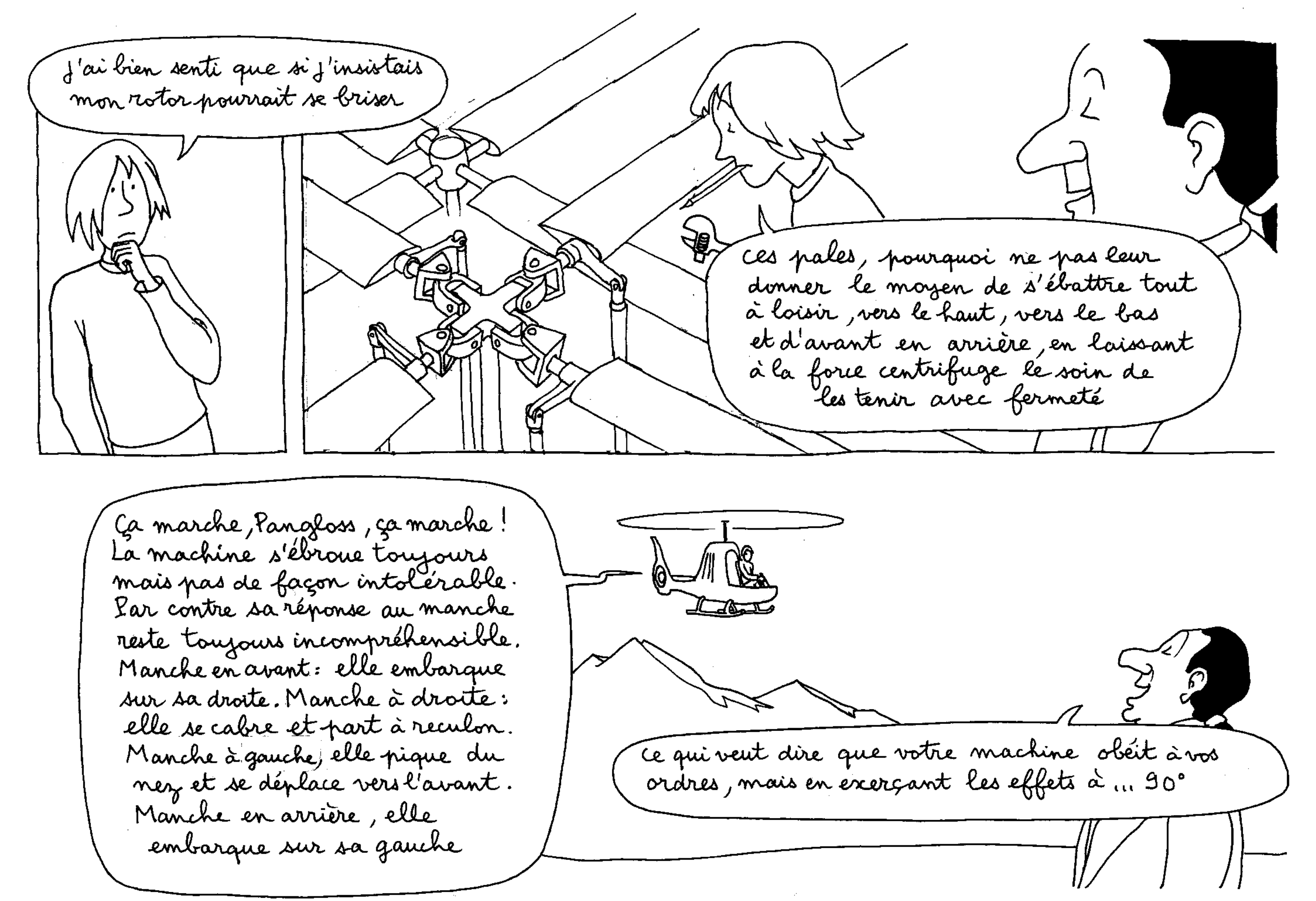




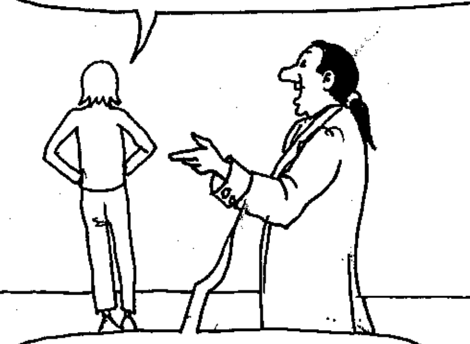


J'ai bien senti que la machine était secouée dès que j'ai mis en oeuvre la variation cyclique du pas. C'était comme si une main invisible avait saisi le moyeu du rotor. Mais, à y regarder de plus près il me semble deviner la raison suffisante de ce phénomène

pour deux pales diamétralement opposées où on a accru le pas de l'une et diminué celui de l'autre les forces aérodyamiques diffèrent en intensité et en direction ce qui explique ces vibrations à tout casser

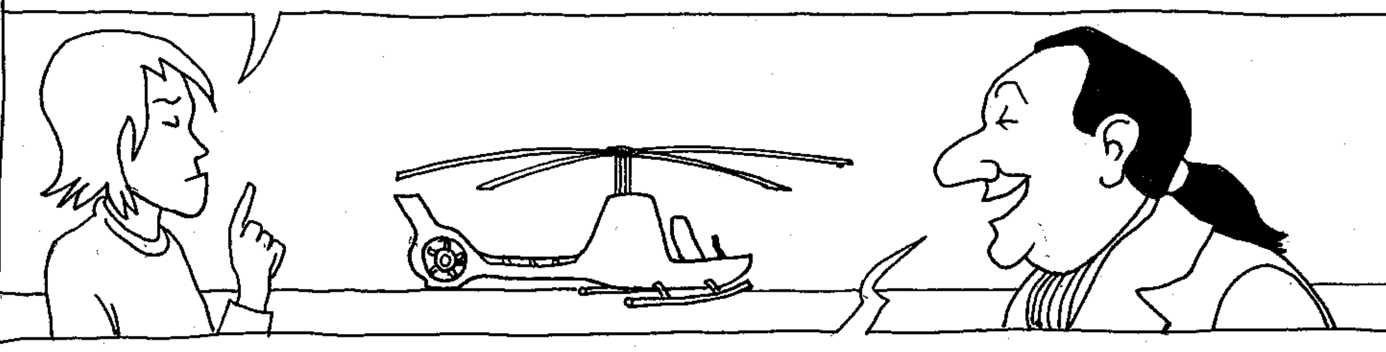

J'ai bien senti que si j'insistais mon rotor pourrait se briser
ces pales, pourquoi ne pas leur donner le moyen de s'ébattre tout à loisir, vers le haut, vers le bas et d'avant en arrière, en laissant à la force centrifuge le soin de les tenir avec fermeté
Ça marche, Pangloss, ça marche ! La machine s'ébroue toujours mais pas de façon intolérable. Par contre sa réponse au manche reste toujours incompréhensible. Manche en avant : elle embarque sur sa droite. Manche à droite : elle se cabre et part à reculon. Manche à gauche, elle pique du nez et se déplace vers l'avant. Manche en arrière, elle embarque sur sa gauche
ce qui veut dire que votre machine obéit à vos ordres, mais en exerçant les effets à ... 90°

c'est incompréhensible mais c'est tout à fait exact



Eh bien, la solution, vous l'avez. Modifiez vos commandes en conséquence !

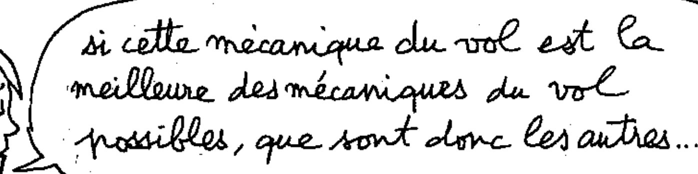
Je ne saurais m'asseoir dans une machine dont le comportement échappe à ce point à mon entendement, mon bon maître



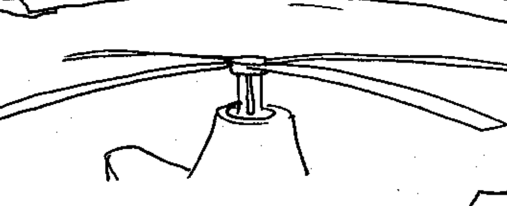
Candide, Candide, combien de choses ont pour nous des apparences familières alors que leur essence nous reste étrangère. Voyez : Le Soleil tourne autour de la Terre et nous ne savons pas pourquoi. Nous n'avons point percé la nature de cette horreur du vide qui fait monter le mercure dans les baromètres. La raison suffisante de cette énergie noire qui provoque la réaccélération de notre Cosmos nous reste étrangère. Devons-nous pour cela nous abstenir d'observer et de mesurer tous ces phénomènes que la Nature nous offre ?



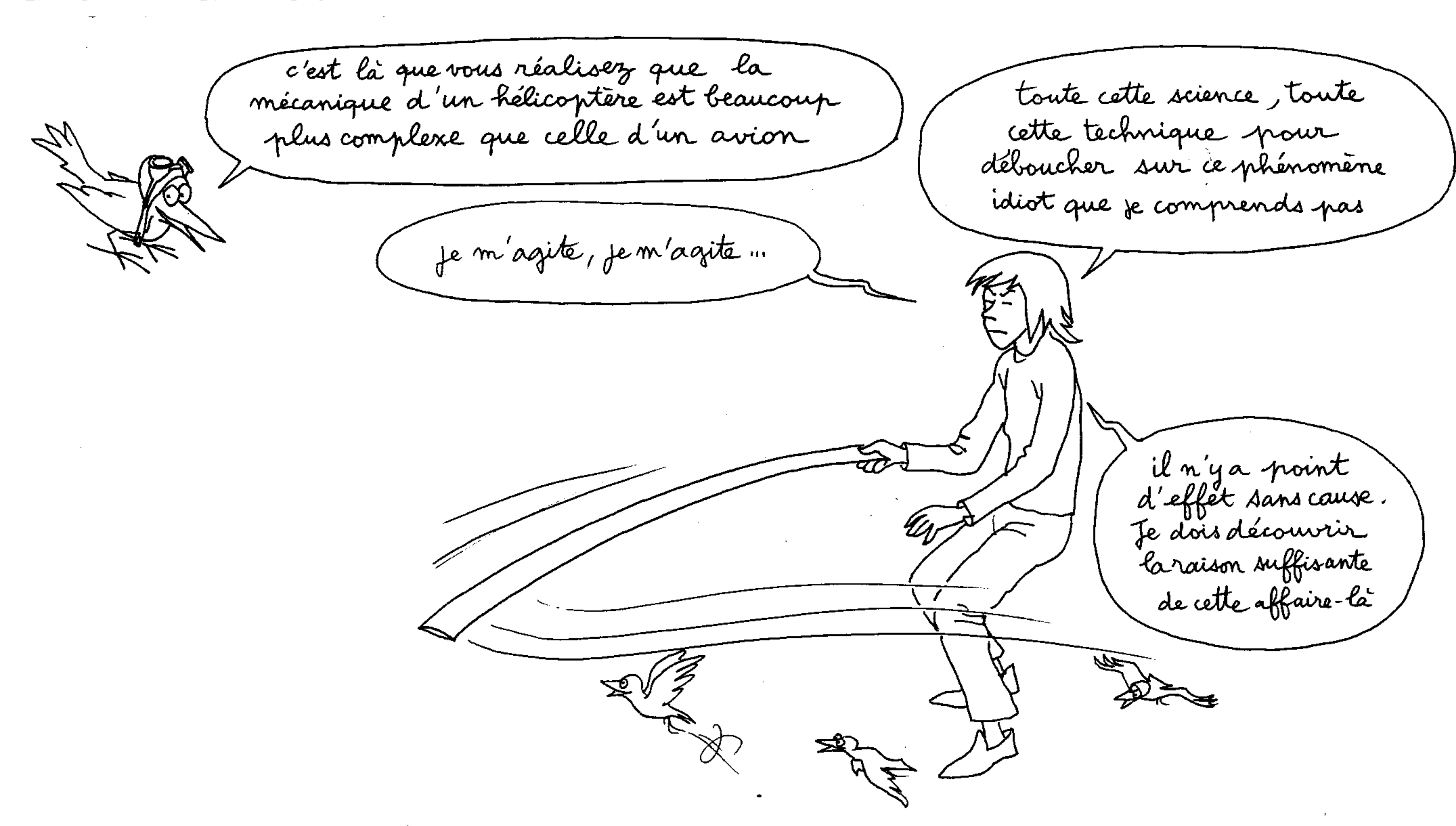
et l'amour, Candide, les tendres sentiments que vous portez à mademoiselle Cunégonde ?

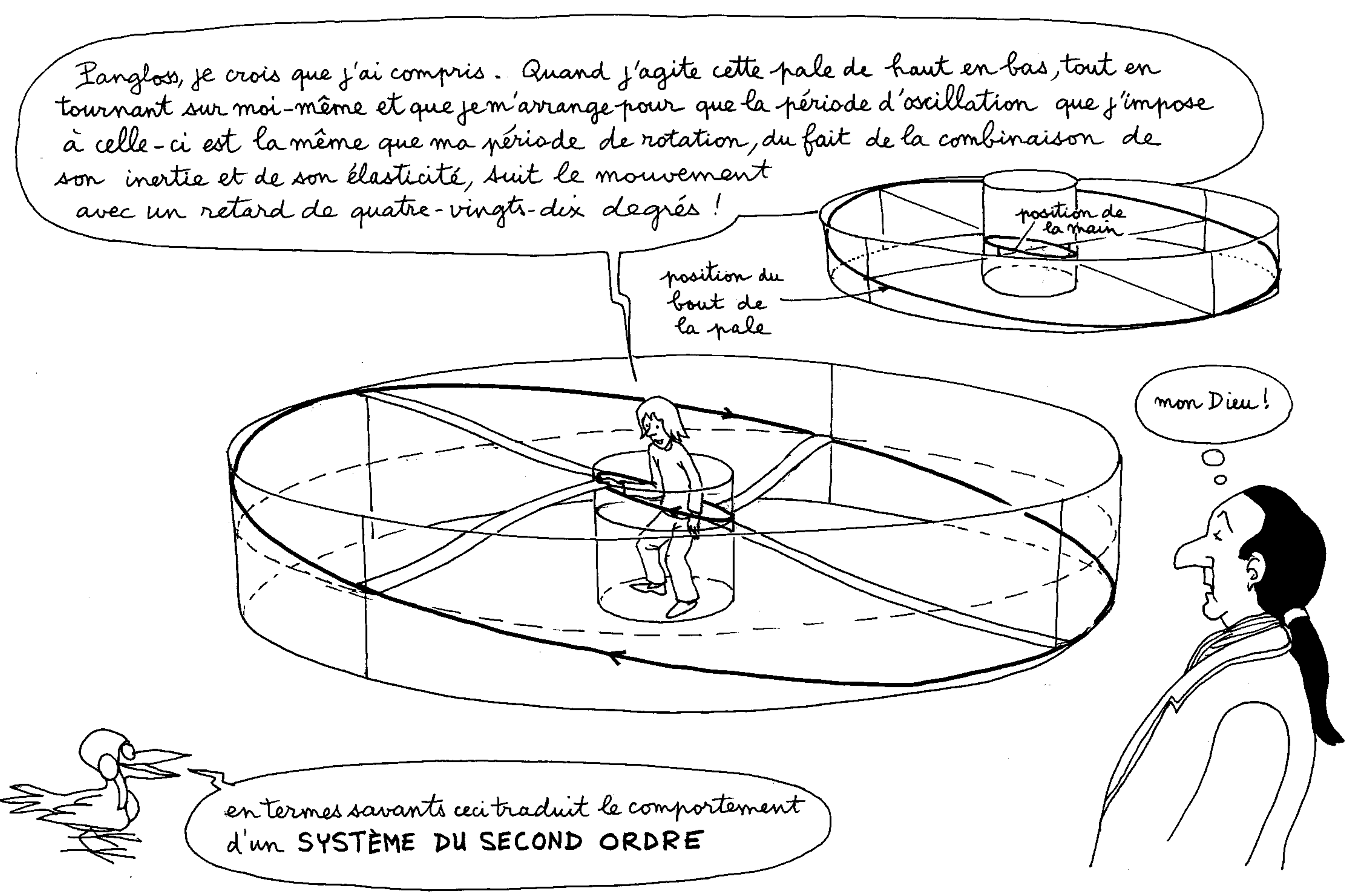


si cette mécanique du vol est la meilleure des mécaniques du vol possibles, que sont donc les autres...

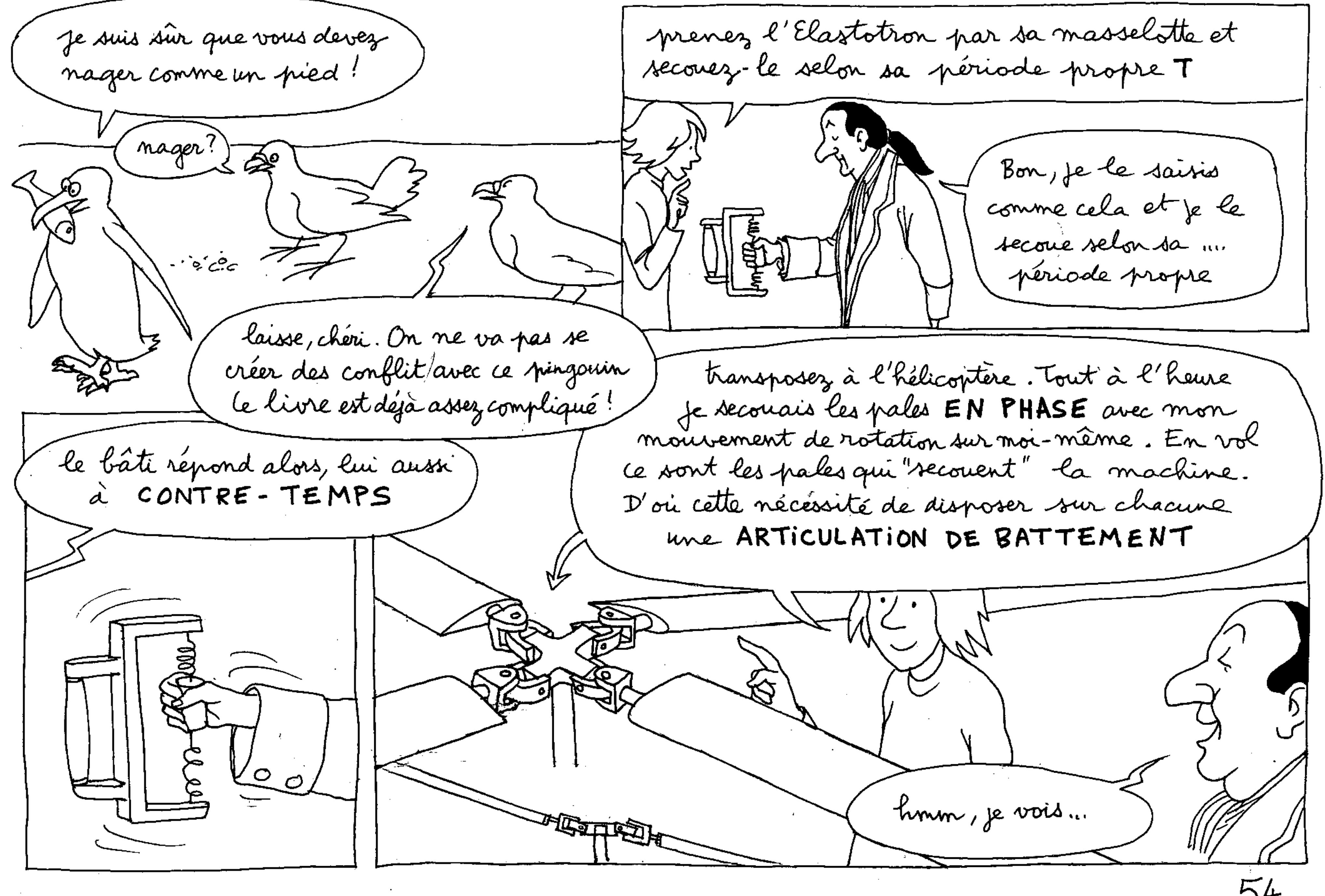


DÉCALAGE DU CYCLIQUE

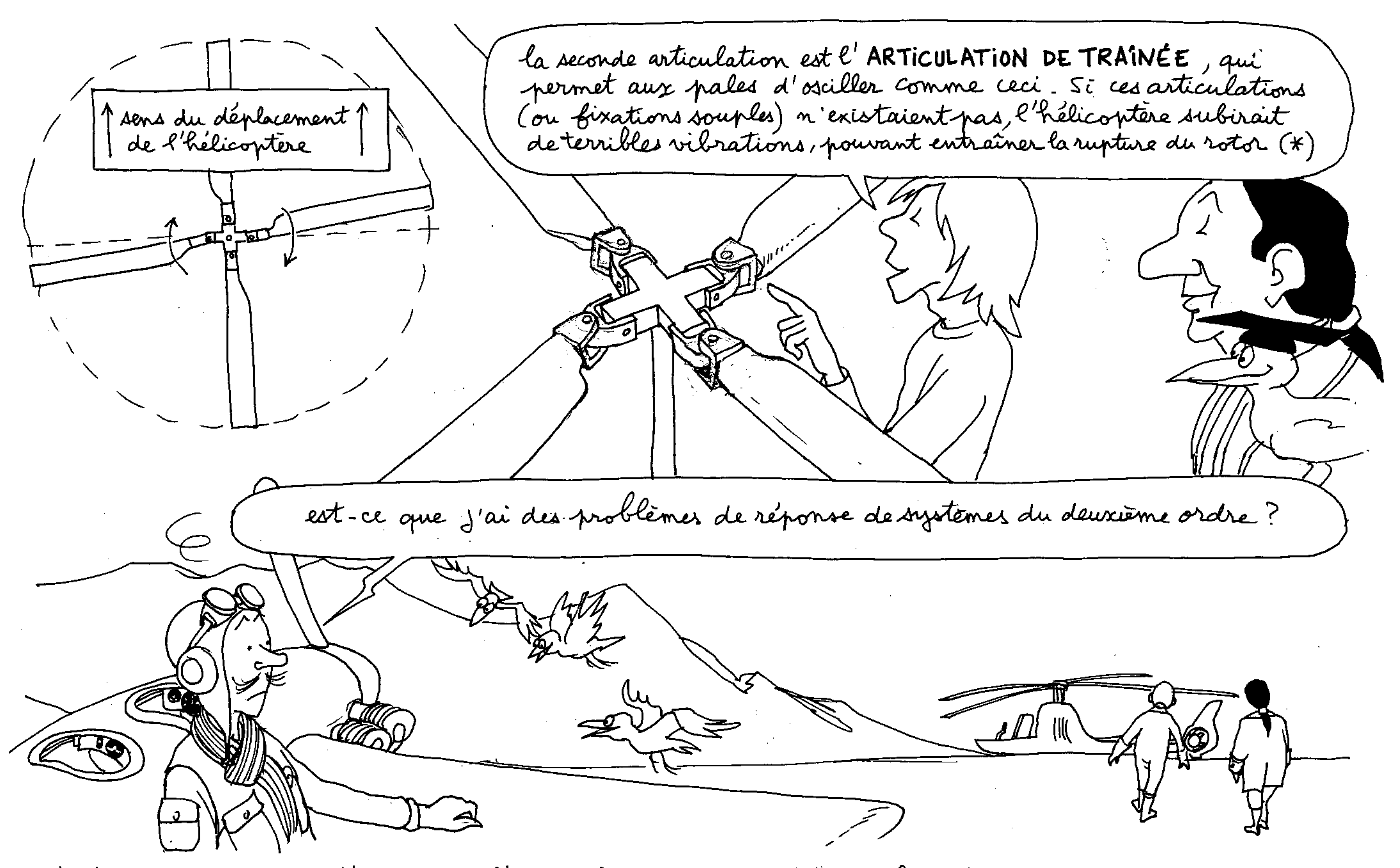



Panglos, je crois que j'ai compris. Quand j'agite cette pale de haut en bas, tout en tournant sur moi-même et que je m'arrange pour que la période d'oscillation que j'impose à celle-ci est la même que ma période de rotation, du fait de la combinaison de son inertie et de son élasticité, suit le mouvement avec un retard de quatre-vingts-dix degrés !
position de la main
position du bout de la pale
mon Dieu !
en termes savants ceci traduit le comportement d'un SYSTÈME DU SECOND ORDRE


cette raison suffisante me semble se situer, j'avoue, au delà de mon entendement
Vous allez comprendre, mon maître, grâce à cet appareil qu'on appelle un ELASTOTRON
M
ne cherchez pas l'usage pratique de cet appareil dont la seule fonction est d'expliquer le comportement singulier des pales des hélicoptères
je croyais qu'on était dans la mécanique des fluides
j'explique : si j'écarte la masse M de sa position d'équilibre, elle va osciller avec une certaine période qu'on appelle la PÉRIODE PROPRE DU SYSTÈME
période T
M
si je sollicite l'appareil en le secouant de haut en bas avec la même période T la masselotte M va "répondre" À CONTRE-TEMPS
M
en quoi est ce que la mécanique des fluides vous concerne ?



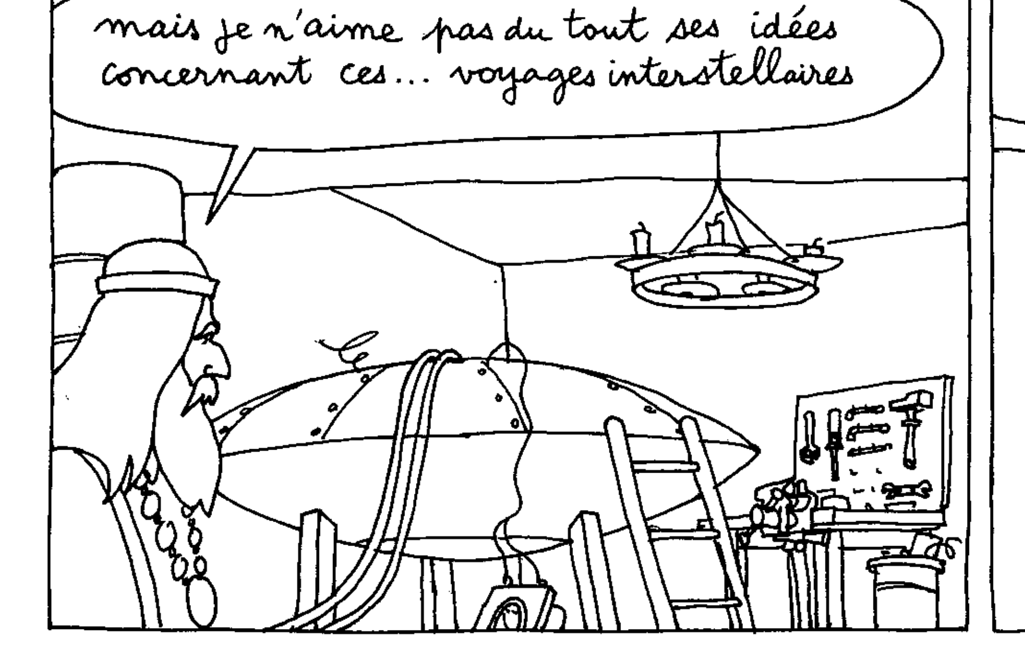
je suis sûr que vous devez nager comme un pied !
nager?
laisse, chéri. On ne va pas se créer des conflit avec ce pingouin le livre est déjà assez compliqué !
prenez l'Elastotron par sa masselotte et secouez-le selon sa période propre T
Bon, je le saisis comme cela et je le secoue selon sa .... période propre
le bâti répond alors, lui aussi à CONTRE-TEMPS
transposez à l'hélicoptère. Tout à l'heure je secouais les pales EN PHASE avec mon mouvement de rotation sur moi-même. En vol ce sont les pales qui "secouent" la machine. D'où cette nécessité de disposer sur chacune une ARTICULATION DE BATTEMENT
hmm, je vois...



(*) dès ses premiers essais d'AUTOGIRE, l'espagnol DE LA CIERVA dut au plus vite introduire ce système "pales articulées plus amortisseurs" sous peine de voir son rotor se briser net


je me demande ce que fait Candide. Cela fait un moment qu'on est sans nouvelles de lui. Ça m'inquiète
tu te demandes ce qu'il a encore pu inventer


il n'a jamais été en peine d'idées subversives, ce garçon
d'accord, c'est un bon ingénieur


mais je n'aime pas du tout ses idées concernant ces... voyages interstellaires


de toute façon, jamais ma fille n'épousera un roturier, fut-il docteur ès-sciences

TRANSITION

les pales de l'hélicoptère sont des ailes de très grand allongement qui laissent dans leur sillage des **TOURBILLONS MARGINAUX**

cette turbulence inutile représente une perte d'énergie

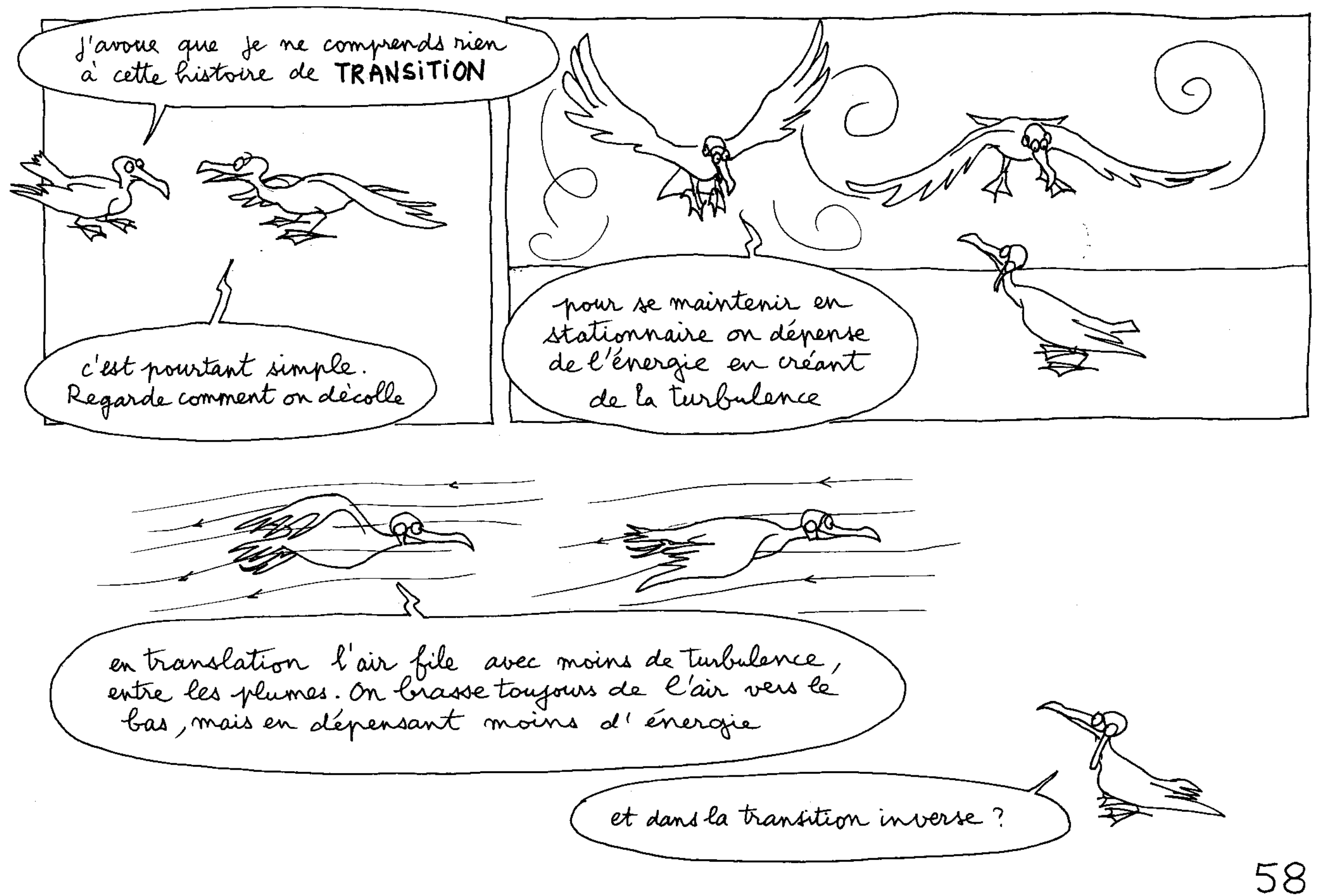
ce sont ces tourbillons qui se créent en bout d'aile qui provoquent en haute altitude des condensations de vapeur d'eau (traînées de condensation)

Lorsque l'hélicoptère entre en translation l'allure de l'écoulement en vient à se trouver totalement modifiée. Les tourbillons perdent de leur importance et, de ce fait la machine peut se sustenter au prix d'une moindre dépense d'énergie.

La Direction

oiseau en vol stationnaire : forte turbulence

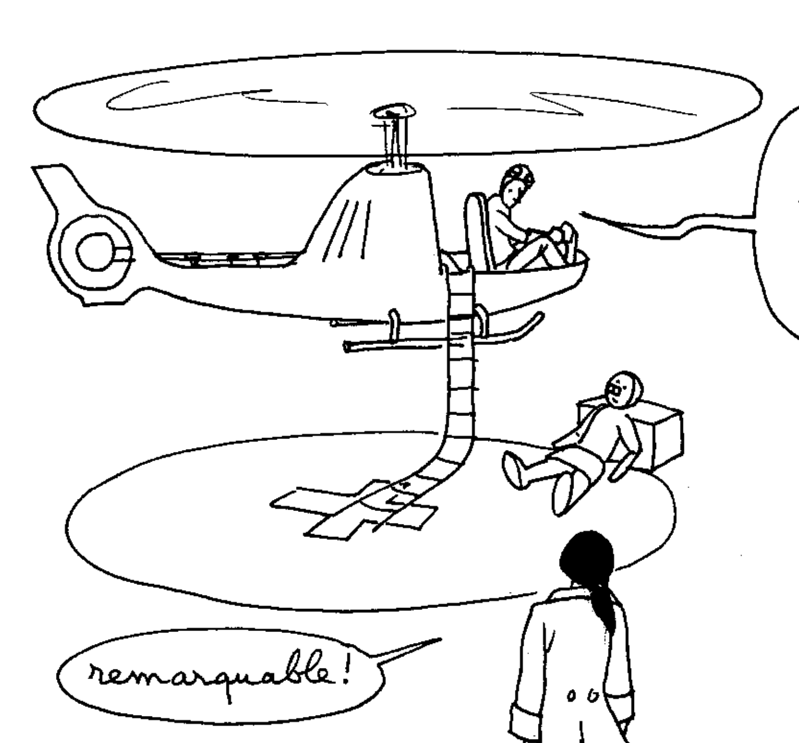
oiseau en translation

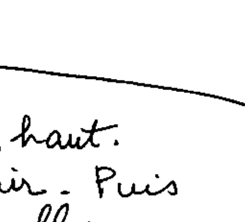

J'avoue que je ne comprends rien à cette histoire de TRANSITION
c'est pourtant simple. Regarde comment on décolle
pour se maintenir en stationnaire on dépense de l'énergie en créant de la turbulence
en translation l'air file avec moins de turbulence, entre les plumes. On brasse toujours de l'air vers le bas, mais en dépensant moins d'énergie
et dans la transition inverse ?

c'est pas dur. Tu vois un truc intéressant en bas, un poisson...

tu cabres pour casser ta vitesse et t'immobiliser en l'air

et là tu reviens en régime de vol stationnaire, en créant une forte turbulence, donc en consommant plus d'énergie

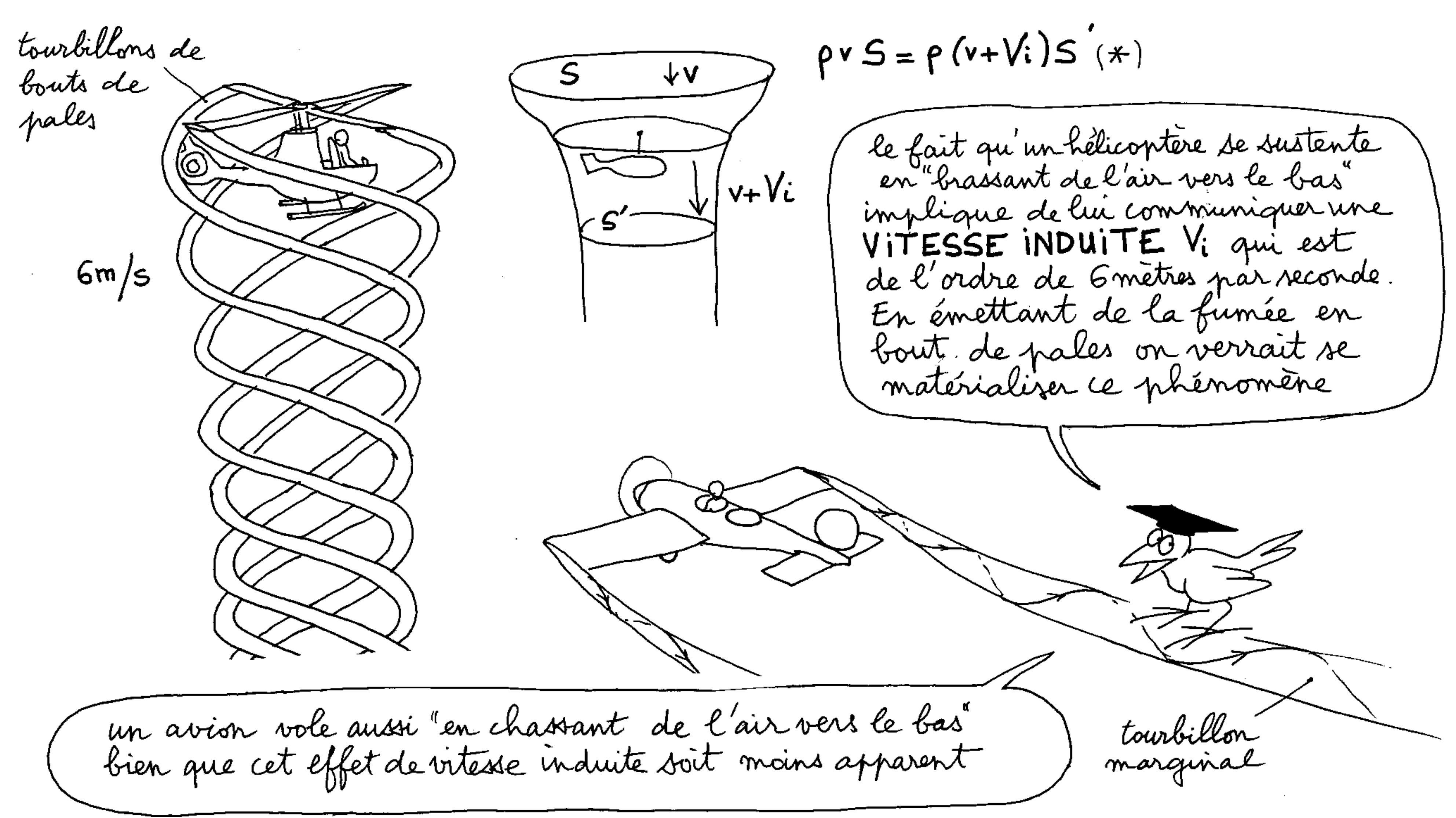

Pangloss, maintenant je suis fin prêt. Cette machine est extraordinairement stable et maniable. Dès que Cunégonde sera montée, je dégagerai au plus vite pour nous mettre hors de portée des archers du baron
remarquable!


je n'aurai qu'à m'approcher, assez haut. Les gens ne regardent jamais en l'air. Puis je descendrai vers la terrasse à vive allure




Oh la, la, c'est complètement instable
en plus ça vibre !
J'ai l'impression que mon hélicoptère s'appuie sur une sorte de masse informe, complètement instable. Il me faut sortir de là au plus vite. Décidément, la descente verticale rapide, ça n'est pas bon du tout !
J'ai loupé la cible, Pangloss. L'approche complètement verticale, ça ne va pas

ViTESSE iNDUiTE



(*) cette relation exprime la conservation du flux d'air à masse volumique ρ constante. Ceci implique que la section S' soit plus petite que la section S

tout ce qui est **TOURBILLONNAIRE** représente une perte d'énergie. Le vol en translation contrarie l'établissement du régime tourbillonnaire. Cette façon de se maintenir à altitude constante est donc moins consommatrice en énergie

Puissance nécessaire au vol

0

vitesse horizontale

moindre importance des pertes liées aux tourbillons de bout de pales

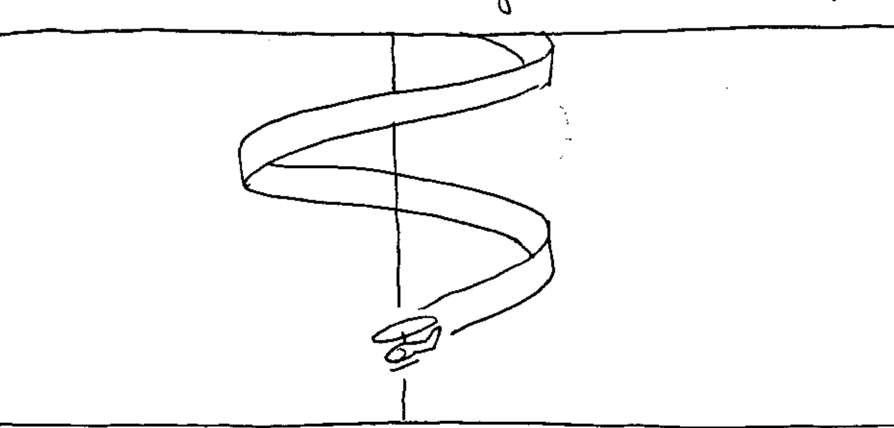
lorsque l'hélicoptère amorce une descente verticale les tourbillons marginaux interagissent quand la vitesse verticale atteint $\frac{1}{4}V_i$

quand la vitesse de descente atteint les trois-quarts de la vitesse induite V_i les tourbillons se fondent en donnant naissance à un gros **VORTEX** de forme torique

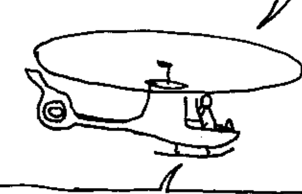
chaque pale prend en relai le tourbillon marginal de la précédente et l'amplifie. les pertes s'accroissent. De plus cette géométrie aérodynamique est très instable



aussi, pour plonger vers un site d'atterrissage, les pilotes préfèreront adopter une approche en spirale en conservant un régime de translation



moralité = j'approcherai le haut de la tour en vol horizontal. Je casserai ma vitesse au dernier moment, en passant en vol stationnaire et en effectuant une dernière descente à vitesse verticale modérée, disons à un mètre par seconde

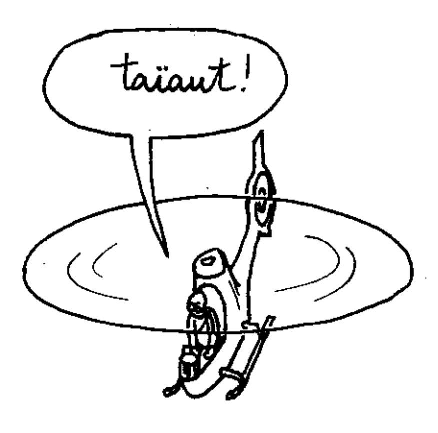


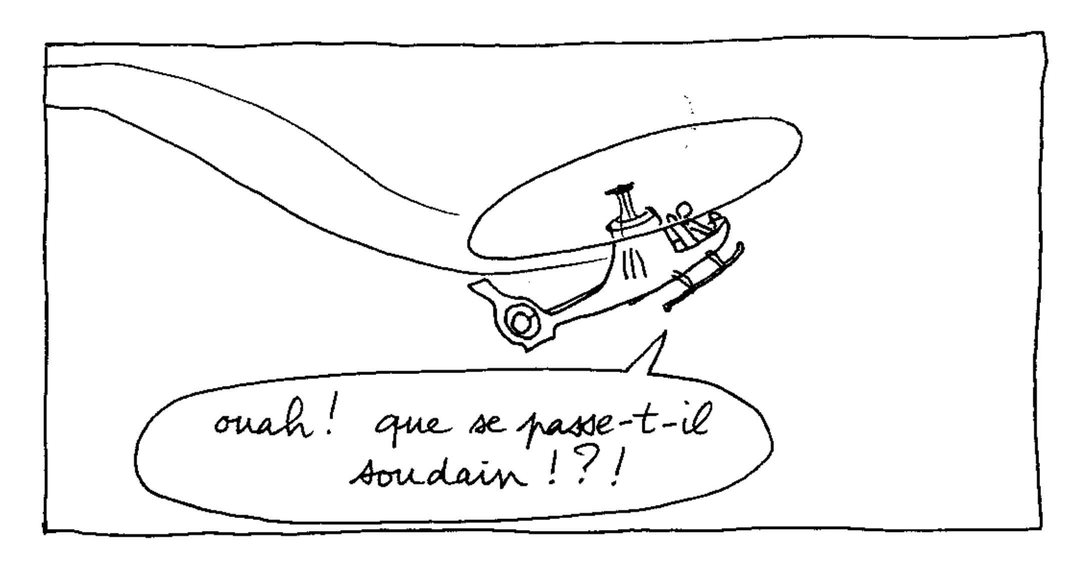
pour éviter ce dangereux passage en **RÉGIME TOURBILLONNAIRE**

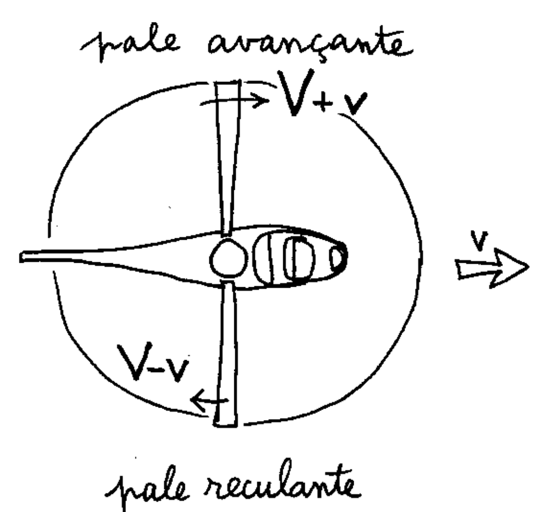
maintenant, reprenons nos essais en vol

DÉCROCHAGE SUR PALE RECULANTE

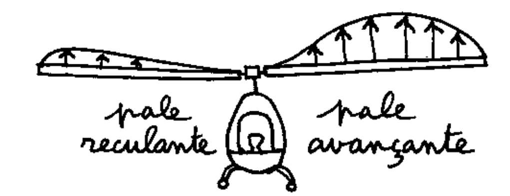


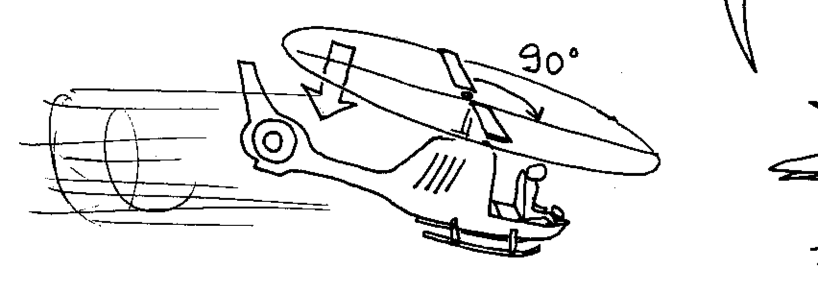


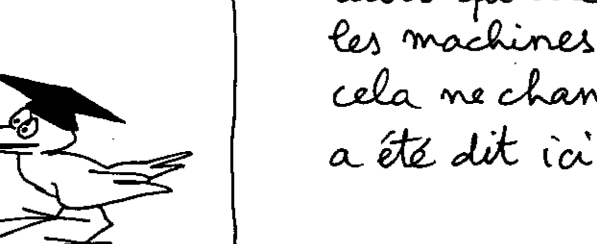




soit V la vitesse de la pale à sa périphérie. Soit v la vitesse de vol de l'hélicoptère. le **VENT RELATIF** auquel est soumise la **PALE AVANÇANTE** est **V+v**. Celui auquel est soumise la **PALE RECULANTE** est **V-v**. Les forces de pression qui s'exercent sur les deux pales sont donc différentes

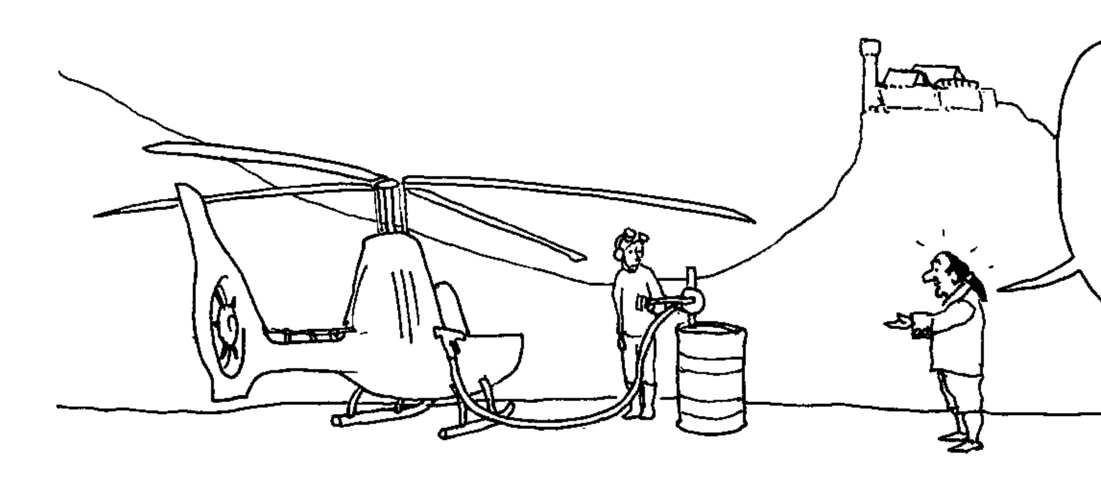






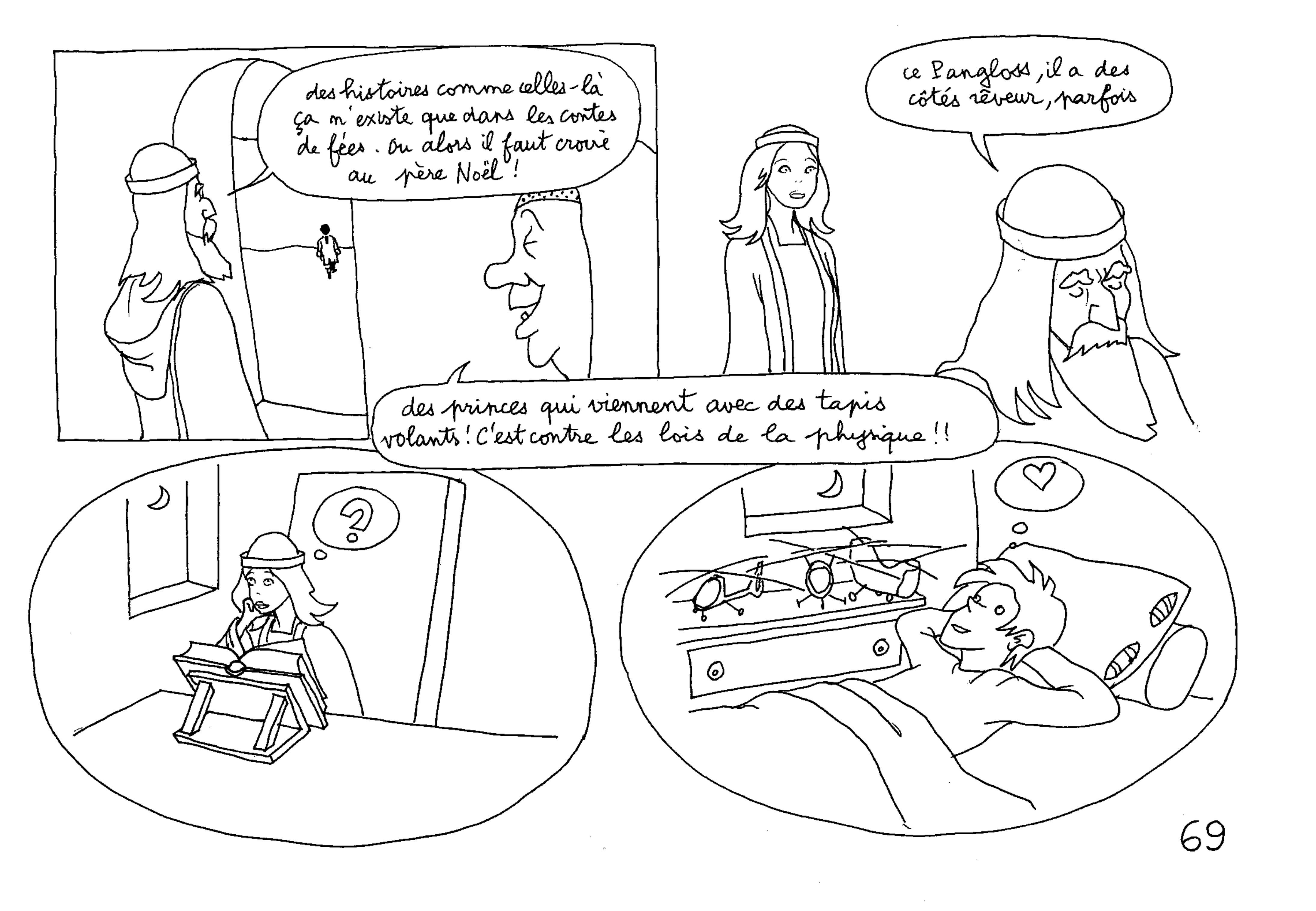
Les sens de rotation des rotors diffèrent selon les pays. Ainsi, pour les hélicoptères français la pale avançante est à gauche alors qu'elle est à droite sur les machines américaines. Mais cela ne change rien à tout ce qui a été dit ici.

La Direction

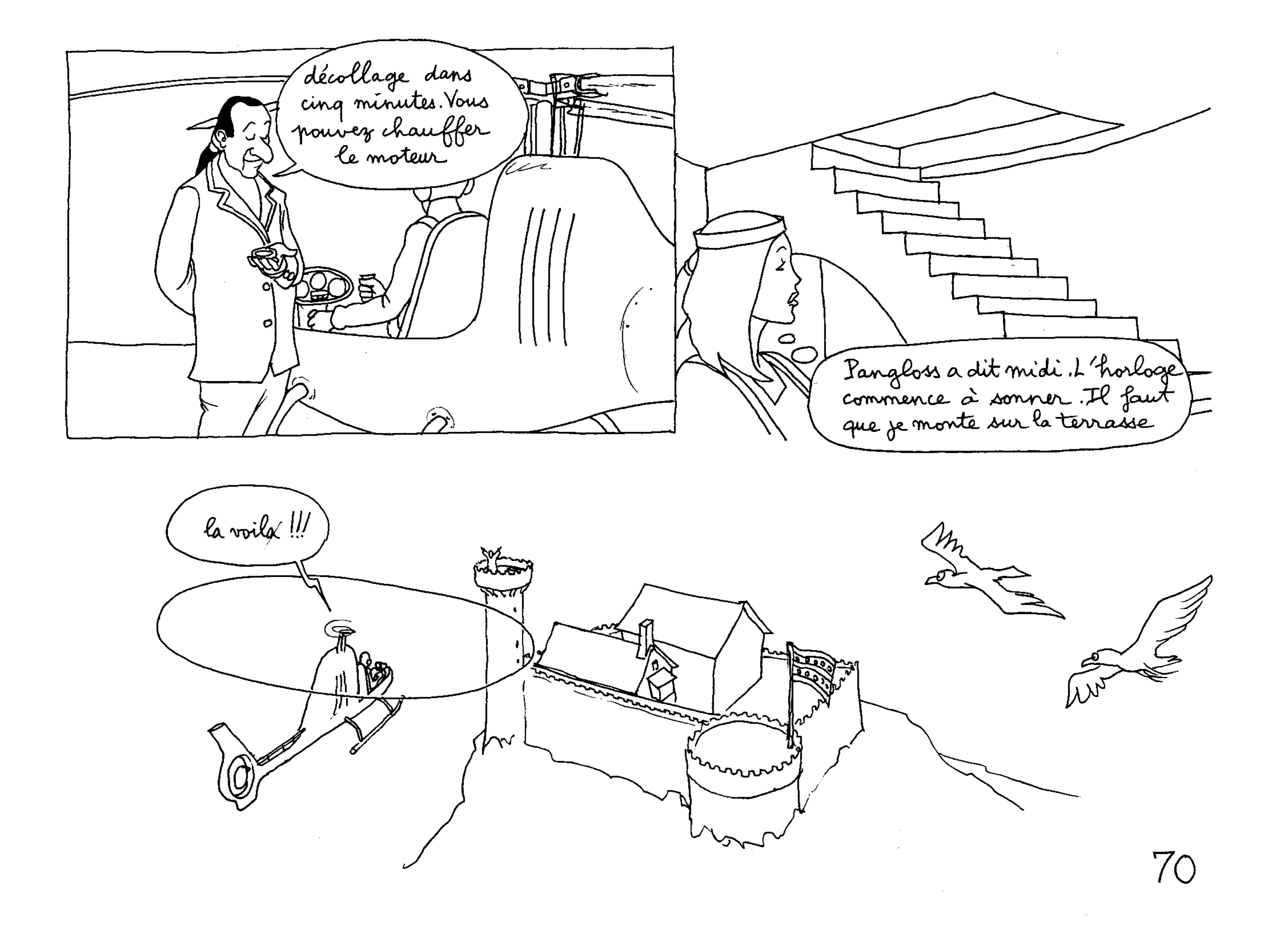


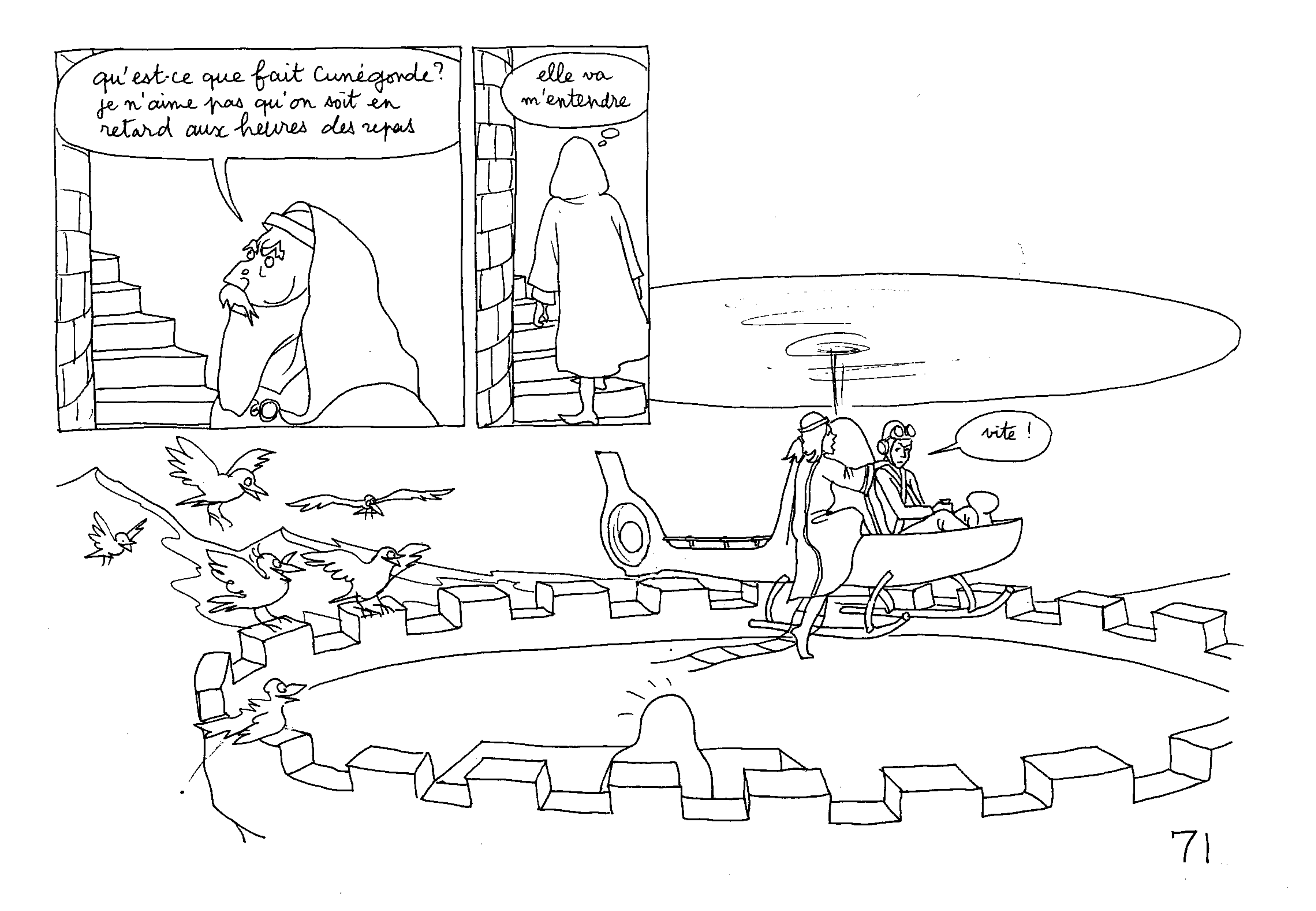

vous avez raison, Maître Pangloss Mais, que faire?
je dois dîner au château ce soir. Je trouverai bien un moyen de la prévenir
Maître Pangloss a plus d'un tour dans son sac
Ah, Maître Pangloss, que ne nous contez-nous pas une belle histoire, pleine de philosophie, dont notre écervelée de fille puisse faire le plus sage des profits
oh oui, maître, ici nous prisons fort vos contes philosophiques
il était une fois...

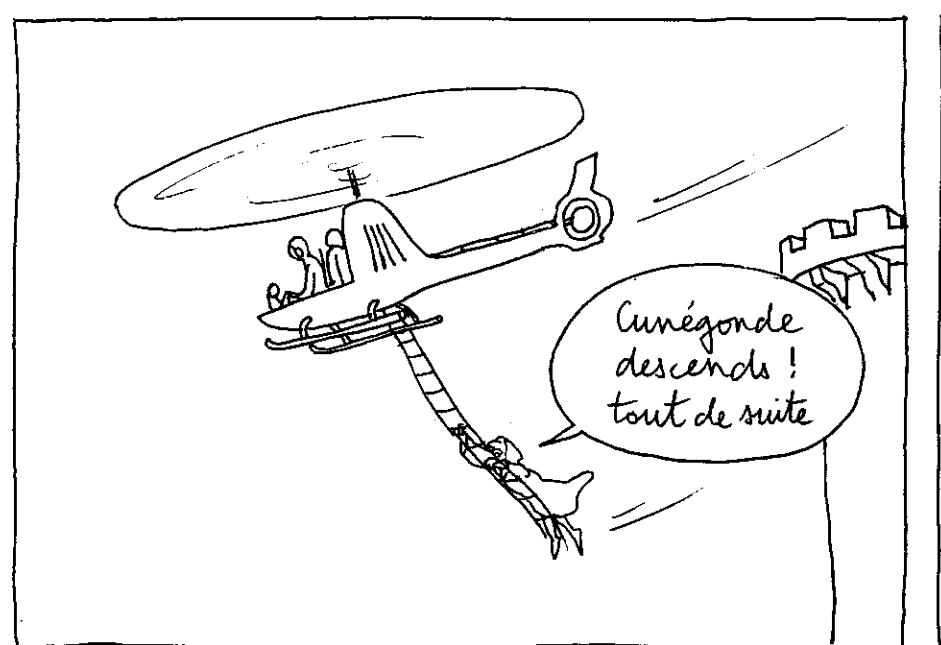

...et alors le prince, à l'heure où sonnaient au beffroy les douze coups de midi, monta sur son tapis volant et s'en vint délivrer la princesse, qui l'attendait en haut de la plús haute tour de son castel
Cunégonde demain en haut de la tour 12h
c'était une belle histoire, Pangloss, bien que je n'aie pas saisi... hum... toutes les implications philosophiques
?

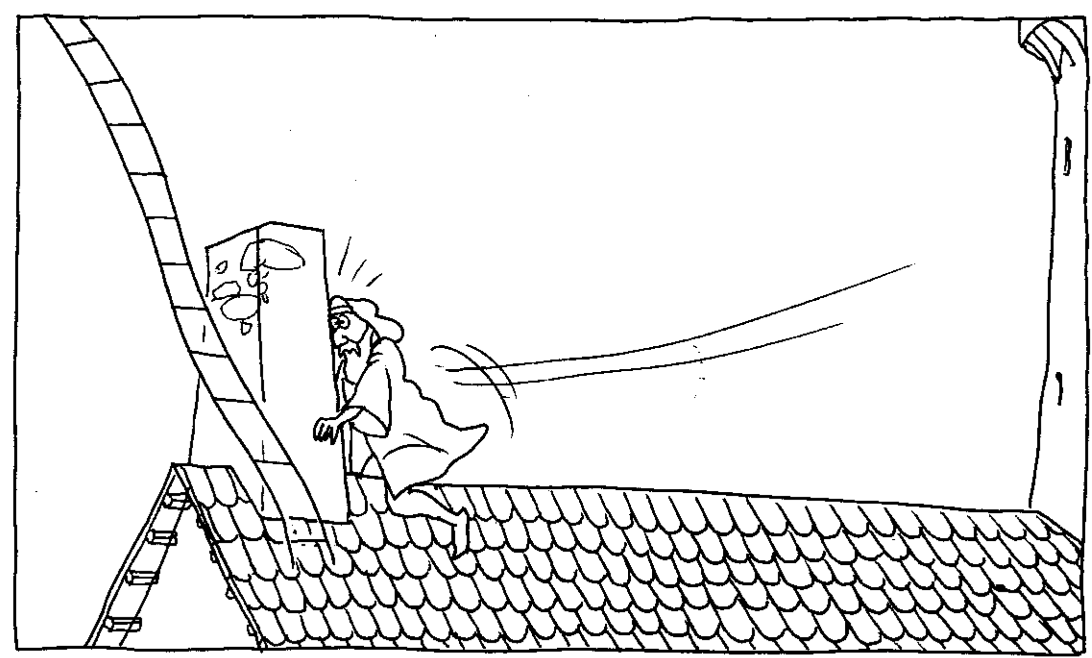


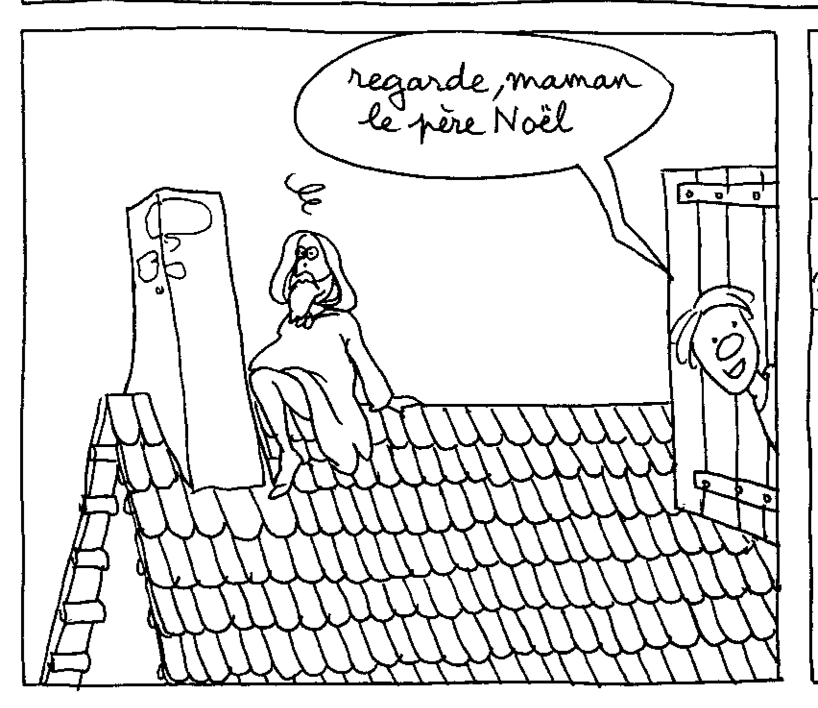
des histoires comme celles-là ça n'existe que dans les contes de fées. Ou alors il faut croire au père Noël !
ce Pangloss, il a des côtés rêveur, parfois
des princes qui viennent avec des tapis volants ! C'est contre les lois de la physique !!
?


décollage dans cinq minutes. Vous pouvez chauffer le moteur
Pangloss a dit midi. L'horloge commence à sonner. Il faut que je monte sur la terrasse
la voila !!!


qu'est-ce que fait Cunégonde? je n'aime pas qu'on soit en retard aux heures des repas
elle va m'entendre
vite !





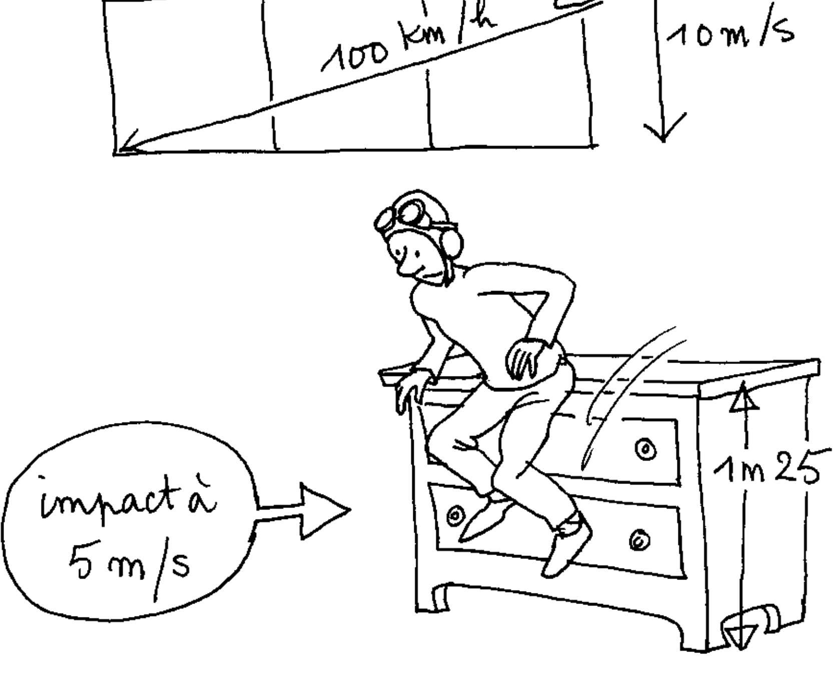


Sapristi ! Un problème au moteur. Il me faut absolument conserver mon régime rotor, mes tours et ma vitesse. Je dois mettre le pas collectif au minimum



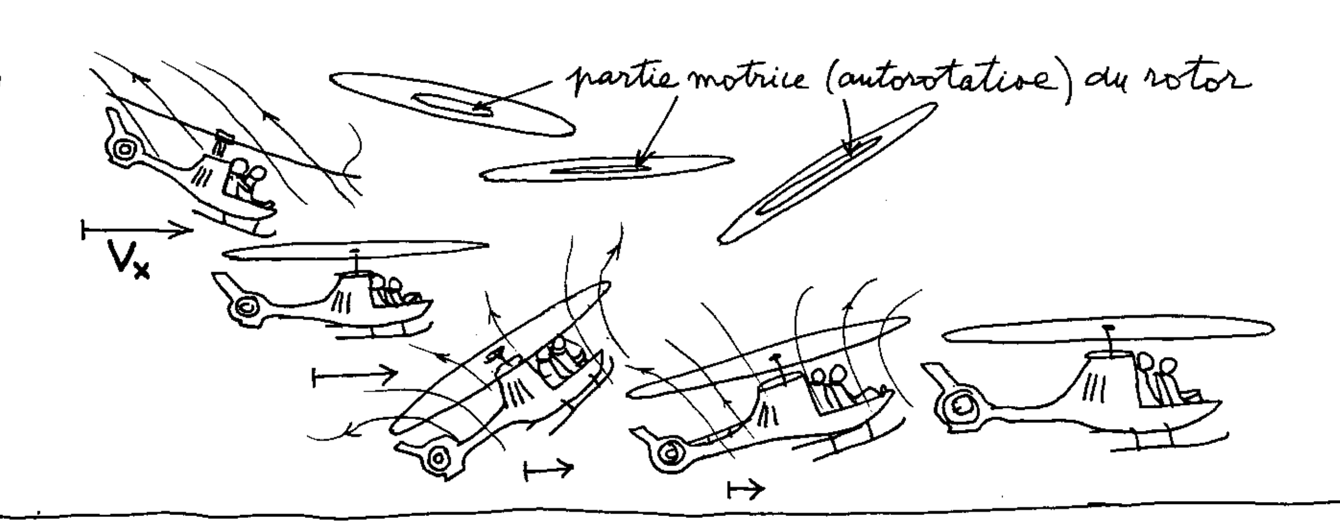
En régime d'autorotation un hélicoptère a une vitesse de 100 km/h, ce qui correspond à une **FINESSE** de **3**. En autorotation verticale la vitesse de chute serait de 20 m/s. et l'impact à cette vitesse tuerait les passagers. Pour fixer les idées, un homme peut encaisser un impact à 5 m/s ce qui équivaut à sauter d'un buffet (*). Un impact à 10 m/s correspond à un saut d'une hauteur de 5 metres.

La Direction



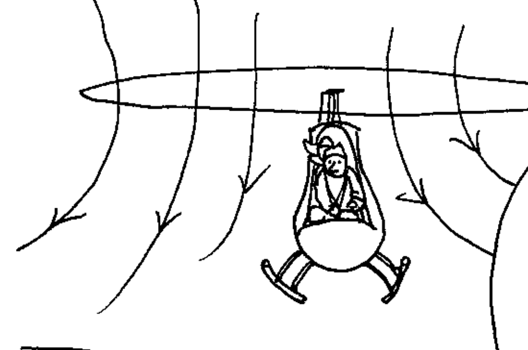
(*) $V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20\,z_{(\text{mètres})}}$

LE FLARE





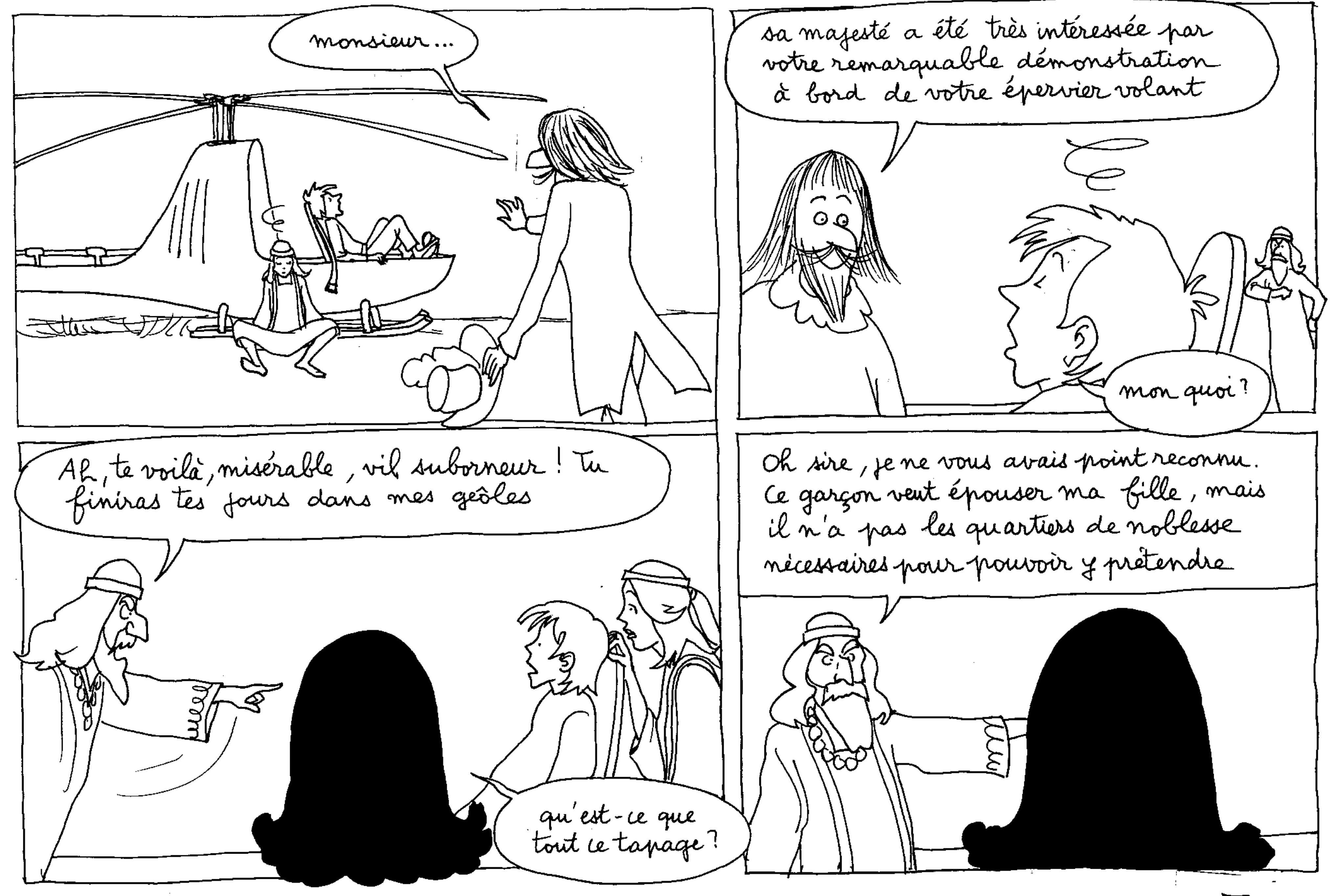
A dix mètres de hauteur Candide tire franchement sur son manche en maintenant le pas collectif au minimum. La machine se cabre et les pales sont attaquées avec une incidence de vent relatif plus forte, ce qui accroît la partie du rotor qui est "motrice" autorotative le faisant il convertit l'énergie cinétique de translation $\frac{1}{2} M V_x^2$ en énergie de rotation. Puis il pousse sur le manche



il tire alors sur le levier de pas collectif. le flux d'air s'inverse. le rotor passe alors du régime "autogire" au régime "hélicoptère". Profitant de l'effet de sol il utilise l'énergie cinétique emmagasinée par le rotor (*)



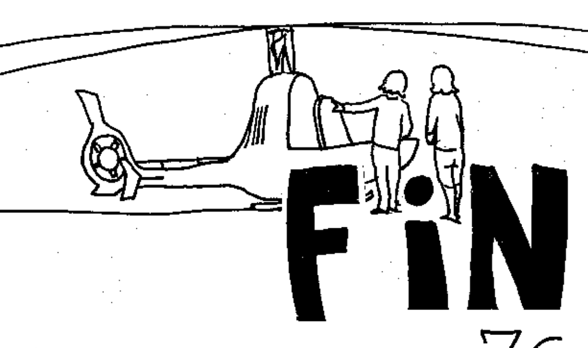
(*) Cette manoeuvre est fortement consommatrice d'adrénaline

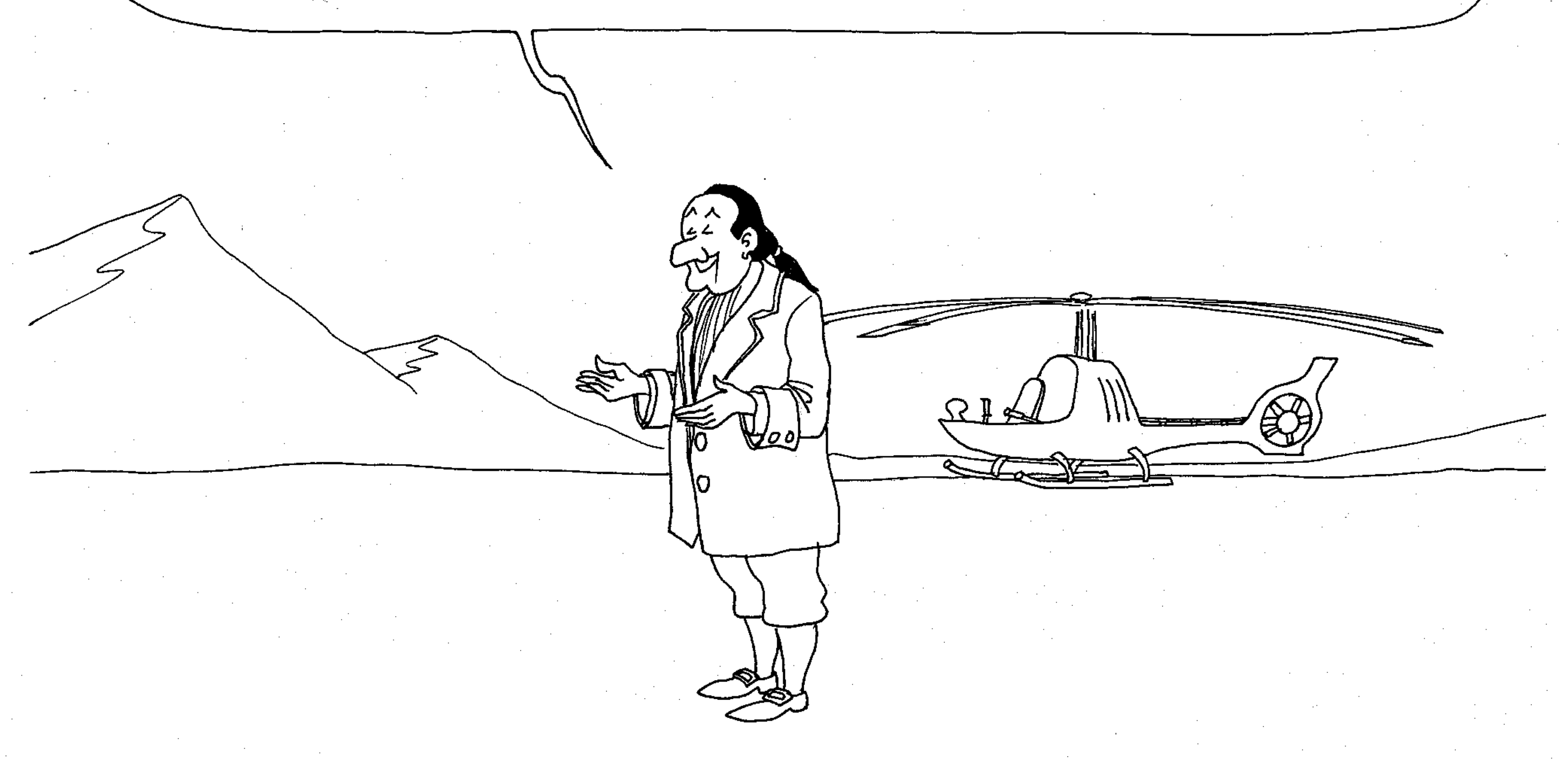

monsieur...
sa majesté a été très intéressée par votre remarquable démonstration à bord de votre épervier volant
mon quoi ?
Ah, te voilà, misérable, vil suborneur ! Tu finiras tes jours dans mes geôles
qu'est-ce que tout ce tapage ?
Oh sire, je ne vous avais point reconnu. Ce garçon veut épouser ma fille, mais il n'a pas les quartiers de noblesse nécessaires pour pouvoir y prétendre


Comme ce baron est ennuyeux. Pour une fois qu'apparaît quelque chose d'un peu amusant il veut mettre l'inventeur sous les verrous. Nous allons arranger cela. Plissonneau, passez-moi mon épée, je vous prie


Un genou en terre, jeune homme Je vais faire de vous le marquis d'hélicoland. Vous serez désormais le ministre de mes transports en tous genres


et marquis, c'est beaucoup mieux que baron. Alors maintenant papa, tu nous lâche un peu


FIN



Un grand merci à Pascal Chrétien pour ses précieux conseils techniques